

REVISTA **cartográfica**

Número 96 • Enero a Junio • 2018



Instituto Panamericano de
Geografia e História

**AUTORIDADES DEL
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA
2013-2017**

PRESIDENTE

Lic. Israel Sánchez

El Salvador

VICEPRESIDENTE

Mag. Alejandra Coll

Chile

SECRETARIO GENERAL

Mag. César Rodríguez

Uruguay

COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

(Costa Rica)

Presidente:

Mag. Max Lobo

Vicepresidente:

Mag. Álvaro Antonio Álvarez

COMISIÓN DE HISTORIA

(México)

Presidenta:

Dra. Patricia Galeana Herrera

Vicepresidente:

Mtro. Rubén Ruiz

COMISIÓN DE GEOGRAFÍA

(Estados Unidos de América)

Presidenta:

Dra. Patricia Solís

Vicepresidenta:

Geóg. Jean W. Parcher

COMISIÓN DE GEOFÍSICA

(Ecuador)

Presidente:

Dr. Mario Ruiz

Vicepresidente:

Dra. Alexandra Alvarado

MIEMBROS NACIONALES DE LA COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

Argentina

Agrimensor Sergio Rubén Cimbaro

Belice

Sr. Wilbert Vallejos

Bolivia

Cnl. DAEN José Oviedo Bustillos

Brasil

João Bosco de Azevedo

Chile

Dr. Carlos Mena Frau

Colombia

Fernando León Rivera

Costa Rica

M.Sc. Max Alberto Lobo Hernández

Ecuador

Sr. Xavier Molina

El Salvador

Sr. Mario Antonio Zeledón Flores

Estados Unidos de América

Eric Van Praag

Guatemala

Ing. Marcos Osmundo Sutuc Carillo

Haití

Ing. Arch. Pierre Alexilien Versaille

Honduras

Arq. Marilyn Villatoro

México

Ing. Raúl Ángel Gómez Moreno

Nicaragua

Panamá

Lic. Israel Sánchez

Paraguay

Cnel. SG Antonio Gavilán Estigarribia

Perú

Mayor EP Reynaldo Flores Rivero

República Dominicana

Geóg. Susana Hernández

Uruguay

Cnel. Daniel Piriz

Venezuela

Ing. Sergio Rodríguez

COMITÉ DE LA COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

Normas y estándares de Información Geográfica

(Colombia)

Cartografía Temática

Infraestructura de Datos Geospaciales

(Ecuador)

INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

REVISTA **cartográfica**



NÚMERO 96

ENERO-JUNIO 2018

REVISTA CARTOGRÁFICA

Publicación anual fundada en 1952
Indizada en PERIÓDICA y Latindex
Disponible en: Cengage Learning, Ebsco y ProQuest

La preparación de la REVISTA CARTOGRÁFICA
está a cargo de la editora María Ester Gonzalez
Universidad de Concepción
Juan Antonio Coloma 0201, CP 4440000
Los Ángeles, Chile
Teléfono: +56 432405244
Correo electrónico: editor_revista_cartografica@ipgh.org.

Canje, venta y distribución de publicaciones, escribir a:
Instituto Panamericano de Geografía e Historia
Secretaría General
Apartado Postal 18879, C.P. 11870 Ciudad de México, México
Teléfonos: (52-55)5277-5888, 5277-5791 y 5515-1910
Correo electrónico: publicaciones@ipgh.org <http://www.ipgh.org>

Las opiniones expresadas en notas, informaciones, reseñas y trabajos publicados en la REVISTA CARTOGRÁFICA, son de la exclusiva responsabilidad de sus respectivos autores.
Los originales que aparecen sin firma ni indicación de procedencia son de la Dirección de la Revista.

En cumplimiento con la resolución IX de la XIV Reunión del Consejo Directivo del IPGH, celebrada en julio de 1972, en Buenos Aires, Argentina, se advierte que: "Los límites que aparecen en los mapas de esta publicación no están, en algunos casos, finalmente determinados y su reproducción no significa aprobación oficial o aceptación por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH)".

Diseño de portada / Cover design / Design da capa: Mônica Pimentel Cinelli Ribeiro, Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE).

Fuente de la imagen / Source / Fonte da Imagem: Composición a partir de imágenes de Free Globo serie disponible en <<https://es.freeimages.com>>.

© 2018 Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

Revista Cartográfica, núm. 96, enero-junio 2018, es una publicación semestral editada por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Ex-arzobispado núm. 29, Col. Observatorio, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11860, Ciudad de México, México. Tels. (52-55)5277-5888, 5277-5791, 5515-1910, www.ipgh.org, publicaciones@ipgh.org. Editora María Ester Gonzalez, correo electrónico: editor_revista_cartografica@ipgh.org. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo núm. 04-2015-090212390600-203, ISSN 0080-2085 ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Licitud de título y contenido: en trámite. Responsable de la última actualización de este número: Departamento de Publicaciones del IPGH, Ex arzobispado núm. 29, Col. Observatorio, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11860, Ciudad de México, México. Fecha de última modificación: 24 de agosto de 2018.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

Contenido

Nota Editorial	7
----------------	---

Artículos científicos

Deslocamento espacial e temporal da linha de costa nas praias pertencentes a Recife e Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil <i>Luciana Maria Da Silva</i> <i>Milde Maria Da Silva Lira</i>	13
---	----

Lineamientos de Gestión Territorial en la parroquia Carayaca, estado Vargas. Análisis de conflictos de uso de la tierra <i>Anays Florez Castillo</i>	33
--	----

Desarrollo de estrategias para integración de las Redes Verticales de América del Sur con base en los términos de referencia SIRGAS/GGOS/IAG <i>Andrea Galudht Santacruz Jaramillo</i>	49
---	----

Seguimiento colaborativo del ruido ambiental utilizando dispositivos móviles y sistemas de información geográfica <i>Juan Humberto Juárez Hipólito</i> <i>Marco Antonio Moreno Ibarra</i> <i>Miguel Jesús Torres Ruiz</i>	65
---	----

Monitoreo urbano de entidades y eventos geográficos basado en censado social <i>Juan Carlos Salazar Carrillo</i> <i>Miguel Jesús Torres Ruiz</i> <i>Marco Antonio Moreno Ibarra</i>	93
---	----

Las IDE 3D: necesidad, desarrollo y líneas de investigación <i>Javier Valencia</i> <i>Ángel Luis Muñoz</i>	107
Comparing the Thiessen's Method against simpler alternatives using Monte Carlo Simulation <i>Marcelo Guelfi</i> <i>Carlos López-Vazquez</i>	125
Metodologías de detección de <i>outliers</i> en datos espaciales, temporales y espacio-temporales <i>Isabel Blasco Fernández</i>	139
EPIC WebGIS-A partilha de conhecimento como ferramenta de integração da paisagem nas políticas de ordenamento do território <i>Manuela R. Magalhães, Selma B. Pena,</i> <i>Ana Müller, Natália S. Cunha,</i> <i>João F. Silva, Andreia Saavedra,</i> <i>Leonor T. Barata, Luísa Franco</i>	159
Instructivo para autores	177

Comité Editorial

Revista Cartográfica número 96

Alexandre Jose Almeida Teixeira

Instituto Brasileiro de Geografia e
Estatística, IBGE e
Centro Universitário Moacyr Sreder Bastos
(Brasil)

Alfonso García-Ferrer Porras

Universidad de Córdoba
(España)

Antonio Miguel Ruiz Armenteros

Universidad de Jaén
(España)

Carlos López Vázquez

Universidad ORT URUGUAY
(Uruguay)

Cristian Bevacqua

Universidad de Catamarca
(Argentina)

Everton Silva

Universidade Federal de Santa Catarina
(Brasil)

Francisco Javier Ariza López

Universidad de Jaén
(España)

Guido Staub

Universidad de Concepción
(Chile)

Homero Fonseca Filho

Universidade de São Paulo
(Brasil)

Ivanildo Barbosa

Instituto Militar de Engenharia, IME (Brasil)

Jorge Delgado García

Universidad de Jaén
(España)

José Gomes dos Santos

Universidad de Coimbra
(Portugal)

Kátia Góes

Instituto Brasileiro de Geografia e
Estatística, IBGE e
Escola Nacional de Ciências Estatísticas,
ENCE
(Brasil)

Manuel Berrocoso Domínguez

Universidad de Cádiz
(España)

Marcio Augusto Reolon Schmidt

Universidade Federal de Uberlândia, UFU
(Brasil)

María Jesús Aguilera Ureña

Universidad de Córdoba
(España)

María Nieves Lantada Zarzosa

Universidad Politécnica de Catalunya
(España)

Mauricio Gonçalves e Silva

Instituto Brasileiro de Geografia e
Estatística, IBGE
(Brasil)

Miguel Ángel Bernabé

Universidad Politécnica de Madrid
(España)

Miguel Calvo Melero

Universidad en Universidad del País Vasco
(España)

Nota Editorial

En el marco de la 23 Reunión de Consulta de Cartografía, que se celebró en el mes de octubre de 2017 en la Ciudad de Panamá, fui designada editora de la *Revista Cartográfica*. Asumí como editora a partir del mes de noviembre de 2017, por lo tanto este número 96 lo inició la editora saliente, la Msc. Valéria Araújo, y ha sido completado durante mi nueva gestión. Consciente de la labor que implica ser editora de una revista que en el 2020 publicará su número 100, asumo esta tarea con el compromiso de continuar el trabajo que mis predecesores han realizado durante tantos años, y con el objetivo de incrementar su calidad y visibilidad, avanzando en la catalogación en el mayor número de índices. El número 96 de la *Revista Cartográfica*, trae a los lectores un total de nueve artículos, sumando una diversidad de metodologías, tecnologías y aplicaciones que se emplean para el estudio de las temáticas que se abordan en esta revista (Cartografía, Geodesia e Información Geoespacial en general). También hay que señalar la diversidad de países de los que provienen los trabajos que se presentan en este número: Brasil, México, Venezuela, Uruguay, España y Portugal.

Los lectores encontrarán en este número:

- El análisis del desplazamiento espacial y temporal de la línea de costas en Pernambuco, Brasil (Da Silva y Da Silva Lira).
- La estimación, análisis y cuantificación de los conflictos de usos del suelo mediante imágenes LANDSAT 8 (Castillo).
- La metodología para un inventario de metadatos de la RVRN del Ecuador en vista de los términos de referencia de SIRGAS/GGOS/IAG (Santacruz Jaramillo).
- Una metodología que utiliza un enfoque basado en la Información Geográfica Voluntaria para el monitoreo, análisis y predicción del ruido ambiental (Juárez Hipólito, Moreno Ibarra y Torres Ruiz).
- El uso de redes sociales, en particular Twitter, para realizar un análisis espacio temporal de eventos viales en la Ciudad de México (Salazar Carrillo, Torres Ruiz y Moreno Ibarra).
- La definición de los elementos necesarios para poder implementar una IDE tridimensional, teniendo en cuenta todos los parámetros de desarrollo, tanto técnicos como legales, necesarios para cumplir con los actuales marcos tecnológicos, normativos, jerárquicos y legales (Valencia y Muñoz).
- Una comparación de Método de Thiessen con alternativas más simples, utilizando la Simulación Monte Carlo (Guelfi y López-Vázquez).
- La descripción de distintos métodos de detección de *outliers* y su aplicación al marco espacial y espacio-temporal (Blasco Fernández).
- La presentación de EPIC WebGIS, una Infraestructura de Datos Espaciales que proporciona cartografía georreferenciada a escala nacional para Portugal (Magalhães, Pena, Müller, Cunha, Silva, Saavedra, Barata y Franco).

Mi agradecimiento a los autores por sus aportaciones, y en especial a los revisores/evaluadores de los artículos que han participado en este número, que con su labor contribuyen a mejorar la calidad y proyectar el avance de la indexación de la *Revista Cartográfica* en otros índices.

María Ester Gonzalez
Editora de la Revista Cartográfica

Editorial

At the 23rd Cartographic Consultation Meeting, which was held in October 2017 in Panama City, I was appointed editor of the *Revista Cartográfica*. I assumed the position of editor in November of 2017, therefore, the number 96 of this magazine began with the previous editor, Msc. Valéria Araujo, and it was finished under my new management. Aware of the work involved in the publication of a magazine that will publish its 100th in the year 2020, I assume the management of this prestigious publishing house with the intention of continuing with the wonderful efforts of previous editors. In particular, my goal is to promote the magazine more widely, thus improving its quality and ensuring that it appears in as many indexes as possible.

Issue 96 of the *Revista Cartográfica* offers readers nine papers. These papers are diverse in the methodologies and technologies which are of central concern to this journal (Cartography, Geodesy and Geospatial Information, in general). Noteworthy, too, is the diversity of countries from where the papers presented in this issue originate: Brazil, Mexico, Venezuela, Uruguay, Spain and Portugal.

In this issue readers will find the following topics:

- The analysis of the spatial and temporal displacement of the shoreline in Pernambuco, Brazil (Da Silva e Da Silva Lira).
- The estimation, analysis and quantification of the land use conflicts through LANDSAT 8 images (Castillo).
- The methodology for a metadata inventory of the RVRN of Ecuador in view of the SIRGAS/GGOS/IAG reference terms (Santacruz Jaramillo).
- A methodology that uses an approach based on Voluntary Geographic Information for the monitoring, analysis and prevention of environmental noise (Juárez Hipólito, Moreno Ibarra e Torres Ruiz).
- The use of social networks, in particular Twitter, to perform a spatial and temporal analysis of road events in Mexico City (Salazar Carrillo, Torres Ruiz e Moreno Ibarra).
- The definition of the necessary elements to be able to implement a three-dimensional SDI taking into account all of the development parameters, both technical and legal, required to comply with the current technological, regulatory, hierarchical and legal frameworks (Valencia e Muñoz).
- A comparison of Thiessen's method with simpler alternatives using Monte Carlo simulation (Guelfi e López-Vázquez).
- The description of distinct methods for the detection of outliers and their application in the spatial and spatial-temporal framework (Blasco Fernández).
- EPIC WebGIS presentation, a spatial data infrastructure which provides georeferenced cartography on a national scale for Portugal (Magalhães, Pena, Müller, Cunha, Silva, Saavedra, Barata and Franco).

I would like to thank the authors for their contributions, as well as those colleagues who took part in the peer-review process which is pivotal to improving the journal's quality and to project the advance of the indexation of *Revista Cartográfica* in other indexes.

María Ester Gonzalez
Editor Revista Cartográfica

Editorial

Por ocasião da 23ª Reunião de Consulta de Cartografia, que se celebrou em outubro de 2017 na Cidade do Panamá, fui designada editora da *Revista Cartográfica*. Assumi como editora a partir do mês de novembro de 2017, portanto este número 96 se iniciou com a editora anterior, a Msc. Valéria Araújo, e se completou durante minha nova gestão. Consciente do trabalho que implica ser editora de uma revista que em 2020 publicará seu 100º número, assumo esta tarefa com o compromisso de continuar o trabalho que meus antecessores realizaram durante tantos anos, e com o objetivo de incrementar sua qualidade e visibilidade, avançando na catalogação num maior número de índices.

O número 96 da *Revista Cartográfica*, traz aos leitores um total de nove artigos, somando uma diversidade de metodologias, tecnologias e aplicações que se empregam para o estudo das temáticas que se abordam nesta revista (Cartografia, Geodésia e Informação Geoespacial em geral). Também deve-se destacar a diversidade de países de onde veem os trabalhos que se apresentam: Brasil, México, Venezuela, Uruguai, Espanha e Portugal.

Os leitores encontrarão neste número:

- A análise do deslocamento espacial e temporal da linha de costa em Pernambuco, Brasil (Da Silva e Da Silva Lira).
- A estimação, análise e quantificação dos conflitos de usos de solo mediante imagens LANDSAT 8 (Castillo).
- A metodologia para um inventário de metadados da RVRN do Equador em vista dos termos de referência SIRGAS/GGOS/IAG (Santacruz Jaramillo).
- Uma metodologia que utiliza um enfoque baseado na Informação Geográfica Voluntária para o monitoramento, análise e prevenção do ruído ambiental (Juárez Hipólito, Moreno Ibarra e Torres Ruiz).
- O uso das redes sociais, em particular o Twitter, para realizar análise espaço temporal de eventos rodoviários na Cidade do México (Salazar Carrillo, Torres Ruiz e Moreno Ibarra)
- A definição dos elementos necessários para poder implementar uma IDE tridimensional, tendo em conta todos los parâmetros de desenvolvimento, tanto técnicos como legais, necessários para cumprir com os atuais marcos tecnológicos, normativos, hierárquico e legais (Valencia e Muñoz).
- Uma comparação do Método de Thiessen com alternativas mais simples utilizando a Simulação Monte Carlo (Guelfi e López-Vázquez).
- A descrição de distintos métodos de detecção de *outliers* e sua aplicação ao marco espacial e espaço-temporal (Blasco Fernández).
- A apresentação de EPIC WebGIS, uma Infraestrutura de Dados Espaciais que proporciona cartografia georreferenciada em escala nacional para Portugal (Magalhães, Pena, Müller, Cunha, Silva, Saavedra, Barata e Franco).

Meus agradecimentos aos autores por suas contribuições, e em especial aos revisores/avaliadores dos artigos que participaram neste número e que com seu trabalho contribuíram para melhorar a qualidade e projetar o avanço da indexação da Revista Cartográfica em outros índices.

María Ester Gonzalez
Editor Revista Cartográfica

ARTÍCULOS
científicos



Deslocamento espacial e temporal da linha de costa nas praias pertencentes a Recife e Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil*

Luciana Maria Da Silva**
Milde Maria Da Silva Lira***

Recebido 4 de junho de 2017; aceito 6 de novembro de 2017

Resumo

Nas últimas décadas, o crescimento da urbanização vem provocando grandes transformações nos aspectos sociais, econômicos e morfológicos nas áreas costeiras. As praias urbanas de Boa Viagem e Pina (Recife-PE) e a praia de Piedade (Jaboatão dos Guararapes-PE) têm apresentado estes aspectos, onde se observa vulnerabilidade costeira à erosão. O objetivo deste trabalho é analisar o deslocamento espacial e temporal da linha de costa. Para isto modelou-se a massa de dados obtida do método de levantamento geodésico relativo cinemático, o qual possibilita o monitoramento da linha de costa, para os anos de 2007, 2009, 2010 e 2012. Foi empregado o método de transectos, o qual é necessário adotar uma linha de costa como base, 2007. E foi dividida a área de estudo em 6 setores para que se pudesse analisar o deslocamento médio da linha de costa. Os setores 1 e 5 apresentam acreção em todos os períodos analisados (2007-2009, 2007-2010, 2007-2012). O setor 2 apresentou erosão em todos os períodos analisados. Os setores 3 e 6 nos períodos de 2007-2009 e 2007-2010, apresentaram erosão, enquanto de 2007-2012 apresentaram tendência a acreção. Destaca-se que no setor 4 não se realizou o cálculo devido ser a área que apresenta enrocamen-

* Este artigo é apresentado a partir dos resultados da Dissertação de Mestrado, intitulada: Modelagem Fuzzy como subsídios para a especialização da vulnerabilidade costeira a erosão, defendida em 31 de janeiro de 2013.

** Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática. Correspondência Rua Luiz Porfírio Pessoa 43, Centro, Timbaúba-PE, Brasil, e-mail: lumasilva15@gmail.com.

*** Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Elétrica. Correspondência Av. Prof. Moraes Rego 1235, Cidade Universitária, Recife-PE, Brasil, e-mail: milde@ufpe.br.

to. Esse estudo tende a contribuir para análise do comportamento temporal nos projetos de tomadas de decisões em ambientes costeiros.

Palavras chave: *crescimento da urbanização, monitoramento da área costeira, vulnerabilidade à erosão, Pernambuco, GPS.*

Resumen

En las últimas décadas, el crecimiento de las urbanizaciones viene provocado grandes transformaciones en los aspectos sociales, económicos y morfológicos en las áreas costeras. Las playas urbanas de Boa Viagem y Pina (Recife-PE) y la playa de Piedade (Jaboatão dos Guararapes-PE) han presentado estos aspectos, donde se observa vulnerabilidad costera a la erosión. El objetivo de este trabajo es analizar el desplazamiento espacial y temporal de la línea de costa. Para ello se modeló la masa de datos obtenida del método de levantamiento geodésico relativo cinemático, el cual posibilita el monitoreo de la línea de costa, para los años de 2007, 2009, 2010 y 2012. Se empleó el método de transectos, el cual es necesario adoptar una línea de costa como base, 2007. Y se dividió el área de estudio en 6 sectores para que se pudiera analizar el desplazamiento medio de la línea de costa. Los sectores 1 y 5 presentan acreción en todos los períodos analizados (2007-2009, 2007-2010, 2007-2012). El sector 2 presentó erosión en todos los períodos analizados. Los sectores 3 y 6 en los períodos 2007-2009 y 2007-2010, presentaron erosión, mientras que de 2007 a 2012 presentaron tendencia a la acreción. Se destaca que en el sector 4 no se realizó el cálculo debido a que el área presenta una escollera. Este estudio tiende a contribuir para el análisis del comportamiento temporal en los proyectos de toma de decisiones en ambientes costeros.

Palabras clave: *crecimiento de la urbanización, monitoreo del área costera, vulnerabilidad a la erosión, Pernambuco, GPS.*

Abstract

In recent decades, the growth of urbanization has caused great transformations in the social, economic and morphological aspects in the coastal areas. The urban beaches of Boa Viagem and Pina (Recife-PE) and the beach of Piedade (Jaboatão dos Guararapes-PE), have presented these aspects, where coastal vulnerability to erosion is observed. The objective of this work is to analyze the spatial and temporal displacement of the shoreline. For this, the several data obtained from the kinematic relative geodetic survey method was modeled, which allows the monitoring of the shoreline for the years 2007, 2009, 2010 and 2012. The method of transects was used, which is necessary to adopt a shoreline as base, year 2007. The study area was divided into 6 sectors to analyze the average displacement of the shoreline. Sectors 1 and 5 presented accretion in all periods analyzed

(2007-2009, 2007-2010, and 2007-2012). Sector 2 presented erosion in all periods analyzed. The sectors 3 and 6 in the periods 2007-2009 and 2007-2010, presented erosion, while from 2007-2012 they presented the tended to accretion. Stand out that in sector 4 the calculation was not made due to the fact that it is the area that presents rockfill. This study tends to contribute to the analysis of temporal behavior in decision-making projects in coastal environments.

Key words: *advance of urbanization, coastal area monitoring, vulnerability to erosion, Pernambuco, GPS.*

Área de estudo

Recife, conforme dados do censo de 2010, conta com uma população de 1.537.704 habitantes e apresenta uma superfície territorial de 218,498 km², com 7.037,6 hab/km². Limitando-se ao norte com as cidades de Olinda e Paulista, ao sul com o município de Jaboatão dos Guararapes, a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe, e a leste com o Oceano Atlântico. Jaboatão dos Guararapes conforme dados do censo de 2010, conta com uma população de 644,620 habitantes, apresenta uma superfície territorial de 258,566 km², com 2.493,06 hab/km². Limitando-se ao norte com o município de Recife, ao sul com o município de Cabo de Santo Agostinho, a oeste com as cidades de São Lourenço da Mata e Moreno, e a leste com o Oceano Atlântico. O município na área fluvial recebe influência das Bacias Hidrográficas do Rio Jaboatão, Rio Pirapama e Tejiptó. Além de possuir a maior lagoa estuarina (Lagoa Olho D'água) na área urbana do estado do Estado de Pernambuco (Da Silva, 2013). Segundo Aureliano (2000) a caracterização da ocupação do município se deu através de loteamentos residenciais, industriais e comerciais, sendo que, nas últimas décadas, houve uma grande ascensão na construção de edifícios, condomínios e hotéis ao longo da orla.

Segundo Manso *et al.*, (2006), o litoral pernambucano foi delimitado e setorizado com base na sua situação geográfica e política em 21 municípios, distribuídos numa faixa de 187 km, que se estende desde o município de Goiana, ao norte, até o município de São José da Coroa Grande, ao sul. A costa pernambucana apresenta baixa altitude, chegando a atingir, em vários pontos, altitudes inferiores ao nível médio do mar. A Figura 1 apresenta um mapa de localização do Estado de Pernambuco na Região Nordeste do Brasil, a ampliação do Estado, e os municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes e em particular uma imagem de satélite que define as praias do Pina, Boa Viagem e Piedade.

O Recife tem um litoral formado pelas praias do Pina e Boa Viagem que totalizam aproximadamente 8,5 km de linha de costa, enquanto Jaboatão é formado pelas praias de Barra da Jangada, Candeias e Piedade que totalizam aproximadamente 8 km, conforme mostra a Tabela 1 com a extensão litorânea das praias.

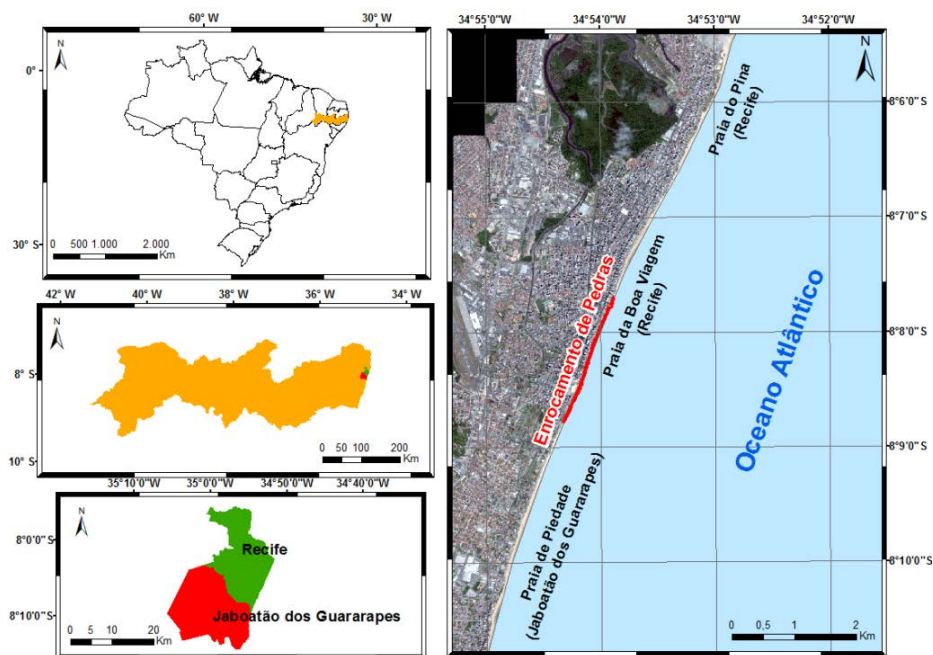


Figura 1. Mapa de Localização da Área de Estudo: Praia de Piedade (Jaboatão dos Guararapes) Praia do Pina e da Boa Viagem (Recife).

Tabela 1
Faixa Litorânea de Recife e Jaboatão dos Guararapes

<i>Praias</i>	<i>Faixa Litorânea (km)</i>
Boa Viagem	7,38
Pina	1
Barra de Jangada	0,4
Candeias	3
Piedade	4,5

Fonte: Da Silva *et al.* (2012).

Ambiente praial e linha de costa

O ambiente praial, segundo Komar (1998) pode ser dividido em quatro partes: dunas, pós-praia, praia média (estirâncio) e ante praia. As praias são definidas como um ambiente sedimentar costeiro de composição variada, formadas mais comumente por areia, e condicionadas pela interação dos sistemas de ondas incidentes sobre a costa (King, 1959). Segundo Da Silva (2013), a praia seria o trecho que se limita as ondas vindas de mar aberto, próxima à linha de costa, ou seja, é a maior posição que as ondas podem chegar em época de tempestades.

Segundo Boak e Turner (2005); Almeida (2008); Rocha *et al.* (2008), a linha de costa é considerada como uma das feições geomorfológicas mais dinâmicas do nosso planeta e o seu monitoramento é necessário para dar suporte ao gerenciamento costeiro. Em um ambiente costeiro verifica-se em vários locais o processo de erosão costeira, resultado da combinação de fatores naturais como: tempestades, correntes marítimas, mudanças sazonais além da ação humana (explorações costeiras e as atividades de engenharia) (Rocha *et al.*, 2008; Harley *et al.*, 2011; Emm *et al.*, 2016).

O monitoramento costeiro vem se beneficiando do estado da arte do GNSS onde um dos grandes desafios é aplicar um método de posicionamento para obtenção precisa de feições costeiras relacionadas a um determinado instante de tempo (Da Silva *et al.*, 2013). Em muitos estudos costeiros a falta de informação cartográfica temporal pode gerar dificuldade no diagnóstico de uma determinada área, sendo muito comum em modelagens costeiras a combinação de informações de distintas fontes.

A partir da década de 60, as praias da Boa Viagem e Pina localizadas no município do Recife-PE e as praias de Barra de Jangada, Candeias e Piedade localizadas no município de Jaboatão dos Guararapes-PE vêm sendo urbanizadas próximo à linha de costa. Diante das construções cada vez mais sobre a pós-praia e até mesmo do estirâncio, observam-se problemas de vulnerabilidade à erosão costeira (Da Silva *et al.*, 2013). Esses processos dão origem às praias urbanas que, segundo Smith (1991), são aquelas que circundam cidades, bairros ou balneários consolidados de diversos níveis de desenvolvimento. Ou seja, são as praias sob ocupação desordenada que interferem em processos naturais podendo causar erosão. Em um estudo realizado por Araújo *et al.* (2007) foi possível analisar a ocupação urbana das praias de Pernambuco, onde no setor Metropolitano do Estado apresentou 47% de sua extensão indicando a ocupação concomitante da pós-praia e do estirâncio.

O objetivo deste estudo foi determinar a evolução multitemporal, ao longo de 5 anos, a partir da taxa de variação da linha de costa obtendo assim sua acreção ou erosão nas praias do Pina, da Boa Viagem e de Piedade. Devido ao processo erosivo decorrente nestas praias com a urbanização presente próxima a linha de costa, buscou-se realizar esta análise para fins de monitoramento da posição da linha de costa,

pois uma forma de realizar um gerenciamento eficiente é investir no monitoramento geodésico da linha de costa, que desempenha um papel essencial no planejamento territorial. Esses resultados foram desenvolvidos na dissertação de mestrado de Da Silva (2013).

Vulnerabilidade à erosão costeira e o surgimento dos enrocamentos

O problema da erosão costeira é um processo natural que pode ter causas antrópicas, podendo se tornar um problema quando da perda de patrimônios, por exemplo, *Morais et al.* (2008) relatam que nos estudos do problema da erosão costeira na linha de costa em Maceió, os imóveis localizados nos primeiros 50 metros desvalorizaram-se economicamente.

A zona costeira concentra grande potencial econômico e turístico que por sua importância a Lei de Gerenciamento Costeiro do Estado de Pernambuco (LGCEP) (2010) que trata dos instrumentos e ocupação da zona costeira em seu capítulo V, artigo 10 inciso 2º, propõe que para as áreas urbanizadas não serão permitido qualquer tipo de instalações de novas construções, urbanização ou outra forma de utilização do solo na zona costeira, na faixa de 33m (trinta e três metros), considerada como *non aedificandi*, ou valor superior a este quando comprovado em estudo técnico, medidos perpendicularmente em direção ao continente, a partir da linha de preamar máxima da sizígia atual. Ao longo do litoral de Boa Viagem e Piedade é possível observar novas obras muito próxima ao mar demonstrado que a urbanização costeira continua em plena atividade.

Como apresentado por Da Silva *et al.* (2013), a vulnerabilidade à erosão costeira está associada a diversos processos morfodinâmicos assim como antrópicos, onde se pode utilizar uma ampla gama de métodos para analisar o grau de vulnerabilidade. As recentes pesquisas têm apresentado que um determinado conjunto utilizando dados qualitativos e quantitativos pode-se desenvolver métodos para análise da vulnerabilidade costeira à erosão. Para as variáveis são atribuídos pesos proporcionais a influência da vulnerabilidade em um modelo analítico objetivando gerar índices numéricos que resultam em mapas temáticos temporais da vulnerabilidade ao longo de uma área costeira, como pode ser visto em *Mazzer et al.* (2008); *Mallmann e Araújo* (2010); *Raposeiro e Ferreira* (2010), *Da Silva* (2013), *Da Silva et al.* (2013) e *Mendonça et al.* (2014).

Nos últimos anos, esforços vêm sendo feitos para identificar as áreas mais vulneráveis para posterior monitoramento e detalhamento das razões dos desequilíbrios observados (*Muehe*, 2006). Segundo *Daniel* (2001) o problema da vulnerabilidade à erosão não consiste em tempestades ou do nível do mar e sim na questão dos seres humanos localizarem suas casas, estradas e diques ao longo do litoral bloqueando toda a área de recreação e assim o estreitamento da praia. Detalhes da recreação da área costeira podem ser visto em *Gonçalves et al.* (2013).

A erosão praial é um problema sério que ocorre em vários lugares do mundo podendo alcançar estágios bastante crítico, assim como ocorre ou ocorreu em outras praias no mundo e no Brasil, por exemplo, na Espanha, em trechos do litoral, a urbanização não deixou espaço suficiente para dinâmica costeira ocasionando prejuízos ambientais, comerciais e recreativos (Doody, 2001). No estado de Delaware, localizada na costa leste dos Estados Unidos o enorme valor das propriedades ao longo da costa e o valor econômico da indústria do turismo costeiro combinam para criar um problema de gestão de recursos naturais que é particularmente difícil de resolver, pois na medida em que a indústria do turismo nessa área se expande, há o aumento de barreiras para evitar o avanço do mar devido à erosão das praias (Daniel, 2001).

Os enrocamentos ou barreiras costeiras são utilizados em locais com o intuito de proteger o continente contra as forças do vento, ondas e marés (Neves e Muehe, 2008), mas normalmente as praias que tem essas barreiras construídas são as que estão bastante vulneráveis à erosão, pois geralmente nos locais onde havia dunas ou vegetação dão lugar a essas barreiras.

Diversos estudos vêm buscando formas de combater a erosão costeira, por exemplo, Ryabchuk et al. (2010) apresentam um estudo de longo e curto prazo dos problemas da erosão costeira ao longo da linha de costa no leste do Golfo da Finlândia. Hapke e Plant (2010) apresentam um modelo probabilístico Bayesiano para tentar prever a erosão costeira do penhasco ao norte de San Diego, Califórnia onde verificaram se o aumento gradual do nível do mar ou grandes eventos de tempestade, entre outras pesquisas.

Métodos

Levantamento Temporal da Linha de Costa

A Figura 2 mostra o trecho percorrido no levantamento relativo cinemático na área de estudo que compreende as praias do Pina, da Boa Viagem e Piedade, localizadas no ambiente litorâneo das cidades do Recife e Jaboatão dos Guararapes, no Setor Médio da costa pernambucana, com um formato alongado, na direção N-S.

Os dados de levantamentos geodésicos da linha de costa na área de estudo são oriundos de um espaço amostral de t anos contendo quatro amostras: 2007, 2009, 2010 e 2012. Em todos os levantamentos geodésicos foram utilizados o método de levantamento geodésico relativo cinemático, onde o receptor base ficou instalado em um local conhecido como terceiro jardim na Avenida Boa Viagem sobre um marco geodésico da prefeitura do Recife com coordenadas precisas conhecidas.

O nível de precisão do método de levantamento cinemático relativo com pós-processamento é em torno de 10 cm podendo alcançar poucos centímetros caso as condições sejam favoráveis (cobertura de satélites, ausência de multicaminho, distância até a base no processamento, etc.) (Seeber, 2003).

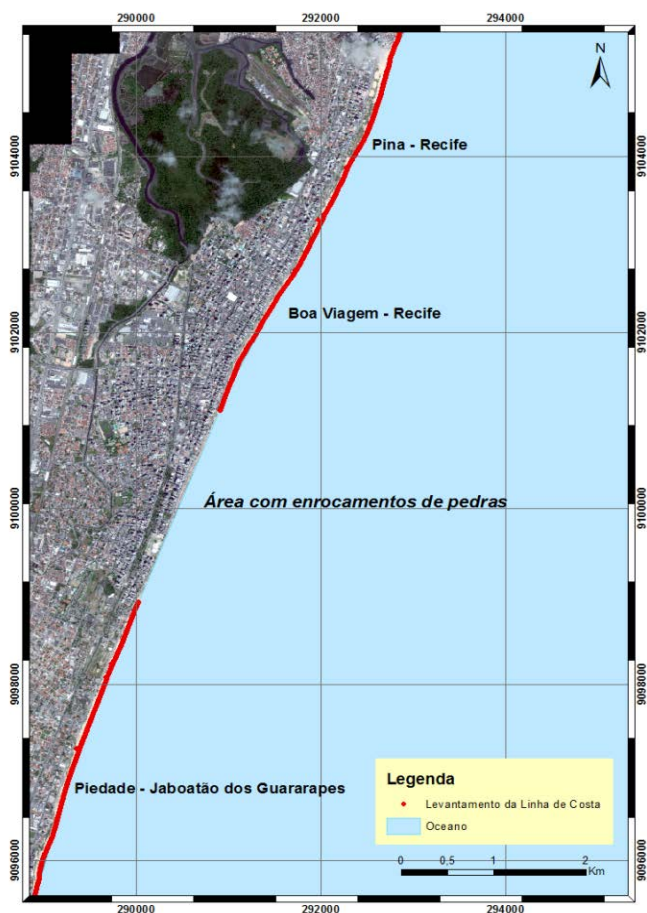


Figura 2. Trecho percorrido no levantamento relativo cinemático, o qual compreende as praias da Boa Viagem e do Pina (Recife) e a praia de Piedade (Jaboatão dos Guararapes), e sem demarcação a área com enrocamento de pedras construído por processo antrópico.

Divisão Setorial da Área de Estudo

Para uma melhor compreensão da análise do deslocamento da linha de costa e do uso do solo dividiu-se em setores segundo o comportamento da região da pós-praia do ambiente praial. O parâmetro distância em metros foi utilizado para caracterizar a proximidade de um setor as áreas urbanizadas ou com a presença de enrocamentos.

O Setor 1 que se inicia no fim do enrocamento de Brasília Teimosa (Praia do Pina) e segue em direção sul com uma extensão de 3060 m, até um canal de escoamento de águas, na altura do edifício Canopus nº 2594 da Avenida Boa Viagem (Figura 3).



Figura 3. A) Apresenta uma área da praia do Pina com uma ampla pós-praia. B) Apresenta uma área da praia da Boa Viagem do Norte para o sul, onde se observa estreitamento da faixa de areia.

Fonte: Da Silva (2013).

Este setor é caracterizado por uma pós-praia bem desenvolvida, com a presença de dunas e com uma distância entre a linha de costa e o primeiro obstáculo urbano entre 120 e 40 metros. No Terceiro Jardim da Av. Boa Viagem, verifica-se ocupação urbana na região da pós-praia (benfeitorias de lazer). Ao percorrer para a direção sul observa-se que a pós-praia torna-se mais estreita e apresenta uma diminuição da presença das dunas frontais, descrições importantes para análise da vulnerabilidade. O Setor 2 no centro da praia da Boa Viagem, inicia-se no final da das dunas frontais depois do Terceiro Jardim da Avenida Boa Viagem e segue para o sul com uma extensão de 1485 m até o cruzamento da Av. Boa Viagem com a rua Bruno Veloso (Figura 4).



Figura 4. A) Apresenta uma área com inclinação maior na face praial. B) Apresenta o estreitamento do ambiente praial e a presença de beachrocks.

Fonte: Da Silva (2013).

Este setor se caracteriza por uma pós-praia sem a presença de dunas e sem vegetação rasteira, mas sem ocorrência de erosão costeira, e com uma distância média entre a linha de costa e o primeiro obstáculo urbano de aproximadamente 40 metros.

O Setor 3 ao norte do início do enrocamento da praia da Boa Viagem, inicia-se no cruzamento da Av. Boa Viagem com a Rua Bruno Veloso e segue para o sul por 410 metros até o início do enrocamento da praia da Boa Viagem (Figura 5).



Figura 5. A) Apresenta a aproximação da Avenida Boa Viagem com a face praial. B) Apresenta a pós-praia aplainada em direção sul.
Fonte: Da Silva (2013).

Este setor caracteriza-se por uma pós-praia próxima ao enrocamento reduzida a menos de 10 metros, com indicações claras de erosão costeira e com uma região de pós-praia de baixo declive. O Setor 4 apresenta a construção de enrocamento de pedras, com uma extensão de 2400m (Figura 6). Este setor se caracteriza com indicações de vulnerabilidade à erosão costeira.



Figura 6. A) Apresenta o centro da construção do enrocamento onde a maré já chega a contenção da Av. Boa Viagem. B) Apresenta o final do enrocamento com a presença da região da pós-praia.
Fonte: Da Silva (2013).

O setor 5 ao sul da construção do enrocamento da praia da Boa Viagem, com uma extensão de 2.882 m. Desta extensão 794 m pertencem a praia da Boa Viagem e 2088m a praia de Piedade (Figura 7). Este setor se caracteriza por uma face praial bem desenvolvida, uma praia arenosa em média 20 m, sem indícios de erosão costeira.

O setor 6 ao sul da praia de Piedade, com uma extensão de 2.022 m até o início do enrocamento da praia de Candeias (Figura 8). Observa-se neste setor uma face praial bem desenvolvida, porém na direção sul uma linha de costa menos retilínea que os setores anteriores. E no final do setor há um estreitamento da face praial. Como visto na descrição o município do Recife compreende 4 setores e parte do setor 5, o município de Jaboatão dos Guararapes compreende 1 setor e parte do setor 5.



Figura 7. Na direção sul apresenta uma pós-praia desenvolvida.

Fonte: Da Silva (2013).



Figura 8. A) Observa-se a linha de costa curvilínea. B) Apresenta o final do setor antes do enrocamento entre a Praia de Piedade e Candeias.

Fonte: Da Silva (2013).

A Figura 9 apresenta os seis setores, detalhados nos parágrafos anteriores desta seção, onde se observou que o setor quatro tem a presença de enrocamentos, não sendo possível delimitar a linha de costa. Sendo assim, nas análises e discussões dos resultados serão considerados apenas cinco setores.

Ainda poder-se-ia acrescentar outro setor na praia de Piedade ao norte da praia de Candeias, mas optou-se não mapear a linha de costa, pois ela encontra-se em contato direto com as construções e assim os problemas de erosão costeira estão presentes exigindo constantes obras de recuperação e manutenção.

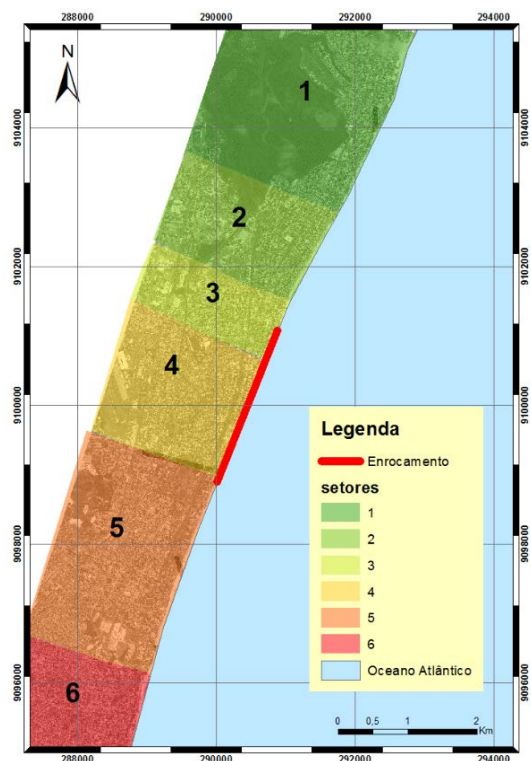


Figura 9. Todos os setores da área de estudo com destaque a área com enrocamento de pedras.

Análise do Deslocamento da Linha de Costa

A análise do deslocamento da linha de costa é gerada a partir de dados temporais da linha de costa (levantamentos que contém os dados vetoriais temporais). O cálculo da taxa de variação da linha de costa considerando os processos de avanços e recuos foi realizado automaticamente na extensão do software *ArcGIS Detect Shifting Toolbox®* (Bartelt, 2012). Isto foi feito através de distâncias de secções transversais entre as linhas de base, com intervalos de 10 m. A Figura 10 apresenta um exemplo da linha de costa e transectos selecionados como base. Destaca-se que a linha de base utilizada como referencia é a do ano (2007) e as dos demais anos (2009, 2011 e 2012) foram utilizadas para geração dos transectos.

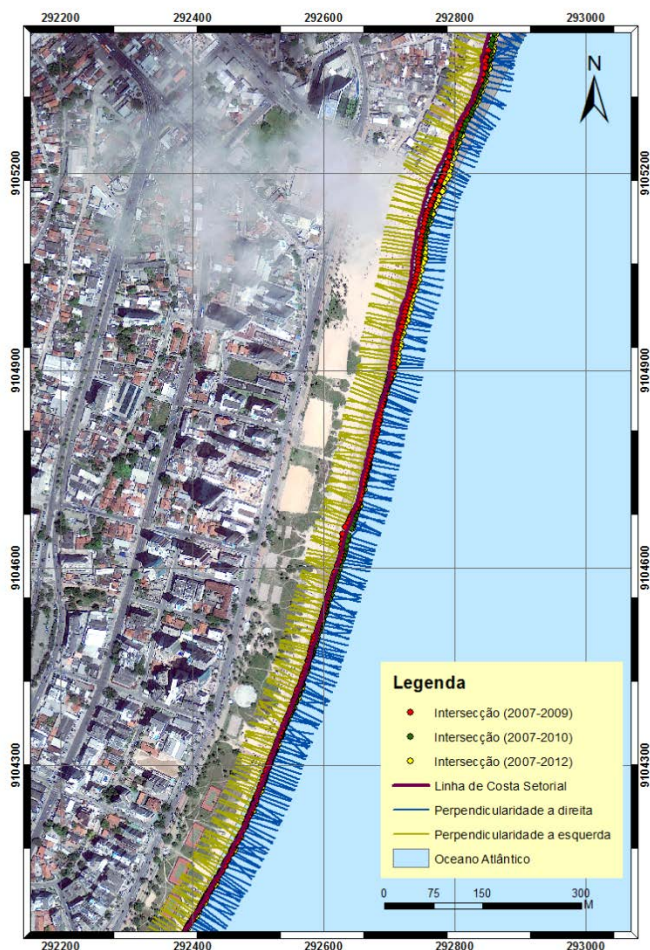


Figura 10. Transectos entre os pontos e perpendicularidades entre a linha de costa.

Resultado do deslocamento temporal da linha de costa

Após a caracterização da área de estudo são apresentados os resultados observados nos cinco setores, com exceção do setor 4, devido ser uma área sem a presença da linha de costa. Na Tabela 2 observam-se as taxas de variação do deslocamento da linha de costa (m/ano), deslocamentos máximos, deslocamentos mínimos e o desvio padrão dos anos 2009, 2010 e 2012. Os resultados são analisados convencionados a aferir a mudança da linha de costa, taxas negativas como de erosão (direção ao continente) e acresção as taxas positivas (direção ao mar). Para análise do deslocamento da linha de costa, destacando se houve recuo ou avanço na área costeira,

consideraram-se as médias dos intervalos apresentados por Thieler e Hammar-Klose (2000), onde se destaca nos setores com erosão, pode apresentar vulnerabilidade muito alta ($< -2,0$) ou alta ($-2,0$ a $-1,0$); setores estáveis apresentam vulnerabilidade moderada ($-1,0$ a $1,0$); setores recuperados ou com acreção pode apresentar vulnerabilidade baixa ($1,0$ a $2,0$) ou muito baixa ($> 2,0$).

Tabela 2
Taxa de Variação (m/Ano) do deslocamento da linha de costa Setorial

<i>Setor</i>	<i>Ano</i>	<i>Média (m)</i>	<i>Deslocamento Mínimo (m)</i>	<i>Deslocamento Máximo (m)</i>	<i>Desvio Padrão (m)</i>
1	2007-2009	0,62	-6,48	9,61	3,15
	2007-2010	0,79	-6,37	9,76	2,41
	2007-2012	0,86	-0,88	9,95	1,93
2	2007-2009	-1,41	-9,77	1,05	2,05
	2007-2010	-0,68	-6,9	2,83	2,36
	2007-2012	-0,18	-6,13	5,45	3,03
3	2007-2009	-1,63	-7,88	1,92	2,35
	2007-2010	-0,45	-3,71	2,51	1,45
	2007-2012	0,03	-4,17	5,7	2,67
4	-	-	-	-	-
5	2007-2009	0,54	-9,82	8,46	3,35
	2007-2010	0,83	-9,81	9,71	4,78
	2007-2012	0,79	-9,99	10	5,19
6	2007-2009	-3,53	-10	-2,53	2,97
	2007-2010	-2,94	-9,82	-7,9	0,74
	2007-2012	0,59	-10	10	4,13

O setor 1 localizado na praia do Pina e parte norte da praia da Boa Viagem e o setor 5 localizado em Piedade apresentaram as médias anuais positivos na taxa de deslocamento da linha de costa no período analisado. Esse setor apresenta uma estabilidade na linha de costa por ter um ambiente praial bem desenvolvido, com uma face praial plana e extensa. O setor 2 localizado na praia da Boa Viagem apresentou as médias negativas na taxa de deslocamento da linha de costa no período analisado. Esse setor apresenta uma instabilidade na linha de costa por ter um ambiente praial menos desenvolvido e possuir uma tendência à erosão. O setor 3 (praia da Boa Viagem) e o setor 6 (praia de Piedade) apresentaram as médias negativas nas taxas de variação do deslocamento da linha de costa nos anos de 2009 e 2010, e as médias positivas nas taxas de variação do deslocamento da linha de costa no ano de 2012.

Nas variações dos deslocamentos mínimos da linha de costa observa-se que todos os setores apresentam uma tendência erosiva para os períodos analisados. Em relação ao deslocamento máximo dos setores, observa-se que os setores de 1 a 3 e 5 apresen-

taram deslocamentos máximos positivos, sendo estes maiores deslocamentos observados (Tabela 2), nos valores de 9,76 (m/ano) e 9,95 (m/ano) para o setor 1 nos períodos 2007-2010 e 2007-2012, respectivamente e os valores de 9,71 (m/ano) e 10 (m/ano) para o setor 5 nos períodos 2007-2010 e 2007-2012, respectivamente. Entretanto, essa tendência de um maior deslocamento da linha de costa em direção ao oceano foi menor para os setores 2 e 3, apresentando valores maiores em 2007-2012 para ambos setores, para o setor 6 o deslocamento máximo foi negativo nos períodos de 2007-2009 e 2007-2010. Ressalta-se que o maior avanço da linha de costa em direção ao continente, quando ocorreu maior progradação foi durante o período de 2007-2012 nos setores 1, 5 e 6.

Em relação ao desvio padrão na taxa de deslocamento da linha de costa, os valores mais altos foram observados no setor 5 valores com 4,78 m e 5,19 m respectivamente para os períodos de 2007-2010 e 2007-2012. Em contrapartida o menor valor observado foi no setor 6 e no setor 3 os valores do desvio padrão são 0,74 m e 1,45 m, respectivamente, ambos para o período de 2007-2010. Ressalvando que estes setores representam as menores extensões nos seguimentos dos 5 setores, principalmente o setor 3, que apresentou uma diminuição na extensão do seu seguimento a partir do período de 2007-2009, devido a expansão do enrocamento para o norte na praia da Boa Viagem. Na Tabela 3 observa-se a distância em metros dos deslocamentos médios, mínimos e máximos nos períodos analisados.

Tabela 3
Distância da Variação (m/Ano) do deslocamento da linha de costa Setorial

<i>Setor</i>	<i>Ano</i>	<i>Média (m)</i>	<i>Deslocamento Mínimo (m)</i>	<i>Deslocamento Máximo (m)</i>	<i>Classificação das taxas médias da linha de costa</i>
1	2007-2009	1,24	-12,96	19,22	Baixa
	2007-2010	2,37	-19,11	29,28	Muito Baixa
	2007-2012	4,30	-4,40	49,75	Muito Baixa
2	2007-2009	-2,83	-19,54	2,1	Muito Alta
	2007-2010	-2,03	-20,70	8,49	Muito Alta
	2007-2012	-0,91	-30,65	27,25	Alta
3	2007-2009	-3,27	-15,76	3,84	Muito Alta
	2007-2010	-0,13	-11,13	7,53	Moderada
	2007-2012	0,13	-20,85	28,5	Moderada
4	-	-	-	-	-
5	2007-2009	1,07	-19,64	16,92	Baixa
	2007-2010	2,45	-29,43	29,13	Muito Baixa
	2007-2012	3,97	-49,95	50	Muito Baixa
6	2007-2009	-7,07	-20,00	-5,06	Muito Alta
	2007-2010	-8,82	-29,46	-23,7	Muito Alta
	2007-2012	1,93	-50,00	50	Baixa

Todos os valores do deslocamento médio da linha de costa no setor 1 e o setor 5 apresentam acreção em todos os períodos analisados. No setor 2 os valores médios apresentam erosão em todos os períodos. Nos setores 3 e 6 no período de 2007-2009 apresentam erosão, enquanto no período de 2007-2012 a tendência a acreção. Mas no período de 2007-2010, o setor 3 apresenta recuperação, enquanto o setor 6 ainda apresenta erosão. Observa-se, também, que o maior deslocamento médio em direção ao continente foi no setor 6 no período de 2007-2010 correspondendo um valor de -8,82 m, enquanto no setor 1 houve um deslocamento médio em direção ao oceano no período de 2007-2012 correspondendo um valor de 4,30 m. Para as distâncias mínimas foi observado que todos os setores apresentaram recuos da linha de costa com valores entre -4 m e -50 m. O setor 1 apresentou o menor valor -4,4 m no período de 2007-2012 e o maior deslocamento negativo (reco da linha de costa) no setor 5 com o valor de -50 m para o período de 2007-2012. Comparando o setor 6, aos setores 2, 3 e 5 observa-se uma diminuição na taxa de deslocamento negativo durante o período de 2012.

Em relação às distâncias máximas dos setores, observa-se que os setores de 1 a 3 e 5 apresentaram deslocamentos máximos positivos, sendo estes maiores deslocamentos observados nos valores de 49,75 m e 50 m respectivamente para o setor 1 e para o setor 5 no período de 2007-2012. Entretanto essa tendência de um maior deslocamento da linha de costa em direção a costa foi menor para os setores 2 e 3, principalmente no setor 6 onde o deslocamento máximo foi negativo para os períodos de 2007-2009 e 2007-2010, mas pode-se observar que no período de 2007-2012 a distância do deslocamento máximo tem o valor igual ao do setor 5, sendo a distância maior da análise. A maior acreção da linha de costa em direção ao oceano, ocorreu nos setores 5 e 6, no mesmo período.

Conclusão

Em uma análise temporal de cinco anos para as praias da Boa Viagem, Pina e Piedade foram possíveis verificar as mudanças que ocorrem ao longo da área costeira. Essas mudanças foram caracterizadas a partir de setores, onde foi possível identificar e quantificar os avanços, estabilidade, erosão, assim como atividades antrópicas. Considerando as informações da linha de costa do ano de 2007 como referência, foi possível analisar a evolução da linha de costa para os anos de 2009, 2010 e 2012, quantificando e analisando nos setores se havia acreção ou erosão.

De acordo com a Tabela 3, o Setor 1 (2007-2009), por exemplo, mostrou uma taxa de recuo considerada baixa, depois entre (2007-2010 e 2007-2012) permaneceu moderada embora com taxas diferentes, pois mostra a média correspondia a 1,24 m e 2,37 m, respectivamente a estes períodos. Em contrapartida o Setor 3 que apresenta parte com enrocamento em (2007-2009 mostrou uma taxa de recuo considerada muito alta, depois entre (2007-2010) a taxa mudou para moderada e no

período (2007-2012) permaneceu como moderada. O Setor 6 observou-se que há uma recuperação da área pois nos períodos de (2007-2009) e (2007-2010) apresentaram um recuo muito alto, em (2007-2012) apresenta um recuo considerado baixo.

No monitoramento da linha de costa ao longo do tempo, observou-se que o aumento das obras de enrocamento de pedras tem causado sérios problemas de erosão costeira, na parte central da Praia da Boa viagem, a área com enrocamento, Setor 4, requer manutenção constante. Para este setor da praia, não foram calculadas as taxas da linha de costa. Os enrocamentos de pedras são construídos para proteger a costa no intuito de remover a energia das ondas e proteger as áreas urbanas de ressacas. Mas a falta de planejamento pode-se tornar um grande problema para as áreas urbanas que estão cada vez mais no espaço da área costeira. E por falta de dinâmica praial, o mar tende “invadir” as áreas urbanas, voltando ao seu espaço. Recomenda-se a continuidade do monitoramento da linha de costa para a área de estudo, uma vez que esta área apresenta um comportamento complexo na linha de costa como observado neste estudo.

Bibliografia

- Almeida, H.R.R.C., (2008). “Séries temporais de imagens suborbitais e orbitais de alta resolução espacial na avaliação da morfodinâmica praial no município do Cabo de Santo Agostinho –PE”, *Dissertação de conclusão de curso*, Mestrado em Ciências Geodésicas, UFPE, 124 pp.
- Araújo, M.C.B.; Souza, S.T.; Chagas, A.C.O.; Barbosa, S.C.T. e Costa, M.F., (2007). “Análise da Ocupação Urbana das Praias de Pernambuco, Brasil”, *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 7(2), pp. 97-104.
- Aureliano, J.T., (2000). “Balneabilidade das praias de Pernambuco: O núcleo Metropolitano”, *Dissertação de conclusão de curso*, Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais, UFPE, 113 pp.
- Bartelt, S., (2012). “Manual do ArcCatalog: *Detect Shifting Toolbox®*”.
- Boak, E.H. e Turner, I. L. (2005). “Shoreline Definition and Detection: A Review”, *Journal of Coastal Research*, 21(4), pp. 688-703.
- Daniel, H., (2001). “Replenishment versus retreat: the cost of maintaining Delaware's beaches”, *Ocean & Coastal Management*, 44, pp. 87-104.
- Da Silva, L.M.; Gonçalves, R.M.; Farias, R.D. e Martins, T.L., (2012). “Detecção de mudanças antrópicas no ambiente praial em Boa Viagem – Recife-PE”, *IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, Recife - PE, pp. 1-7.
- Da Silva, L.M., (2013). “Modelagem Fuzzy como subsídios para a espacialização da vulnerabilidade costeira à erosão”, *Dissertação de conclusão de curso*, Mestrado em Ciências Geodésicas, UFPE, 164 pp.

- Da Silva, L.M.; Gonçalves, R. M.; Lira, M. M. S. e Pereira, P. S., (2013). “Modelagem fuzzy aplicada na detecção da vulnerabilidade à erosão costeira”, *Boletim de Ciências Geodésicas*, vol. 19, pp. 746-764.
- Doody, J.P., (2001). “Shoreline management – conservation, management or restoration?”, *National Coastal Consultants*, pp. 407-419.
- Emm, V.; Tsokos, A.; Kotsi, E., (2016). “Shoreline change detection and coastal erosion monitoring using digital processing of a time series of high spatial resolution remote sensing data”, *Bulletin of the Geological Society of Greece*, vol. L, pp. 1747-1755.
- Gonçalves, R.M., Pacheco, A.D.P., Tanajura, E.L.X. e Da Silva, L.M., (2013), “Urbanização costeira e sombreamento na praia de Boa Viagem, Recife-PE, Brasil”, *Revista de Geografia Norte Grande*, 54 (1), pp. 241-255.
- Hapke, C. e Plant, N., (2010). “Predicting coastal cliff erosion using a Bayesian probabilistic model”, *Journal of Marine Geology*, 278, pp. 140-149.
- Harley, M.D.; Turner, I. L.; Short, A.D. e Ranasinghe, R., (2011). “Assessment and integration of conventional, RTK-GPS and image-derived beach survey methods for daily to decadal coastal monitoring”. *Journal of Coastal Engineering*, 58, pp. 194-205.
- King, C.A.M., (1959). “Beaches and Coasts”, *Arnold*, London, 403 pp.
- Komar, P.D., (1998). “Beach processes and Sedimentation”, *Englewood Cliffs*, New Jersey, Prentice Hall, 544 p.
- Lei de Gerenciamento Costeiro do Estado de Pernambuco. “Lei Nº 14. 258”, de 23 de dezembro de 2010.
- Mallmann, D.L.B. e Araújo, T.C.M., (2010). “Vulnerabilidade do Litoral Sul de Pernambuco à erosão”, *Tropical Oceanography*, 38 (2), pp. 129-151.
- Manso, V.A.V.; Coutinho, P.N.; Guerra, N.C. e Junior, C.F.A.S., (2006). “Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro: Pernambuco”, *Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – LGGM*, Recife: Editorial da Universidade.
- Mazzer, A. M.; Dillenburg, S.R. e Souza, C.R.G., (2008). “Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil”, *Revista Brasileira de Geociências*, 38 (2), pp. 278-294.
- Mendonça, F.J.B., Gonçalves, R.M., Awange, J., Silva, L.M. e Gregório, M.N., (2014). “Temporal shoreline series analysis using GNSS”, *Boletim de Ciências Geodésicas*, 20 (3), pp. 711-729.
- Morais, J.O.; Pinheiro, L.S.; Cavalcante, A.A.; Paula, D.P. e Silva, R.L., (2008). “Erosão Costeira em Praias Adjacentes às Desembocaduras Fluviais: O Caso de Pontal de Maceió, Ceará, Brasil”, *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 8(2), pp. 61-76.
- Muehe, D., (2006). “Erosão e progradação do litoral brasileiro”, *Brasília: Ministério do Meio Ambiente*.

- Neves, C.F. e Muehe, D., (2008). “Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira”, *Parcerias Estratégicas*, 27, 80 pp.
- Raposeiro, P.D. e Ferreira, J.C.R., (2010). “A análise da vulnerabilidade e do risco de inundação como ferramenta de apoio à gestão dos territórios litorais sob pressão urbana”, *Pluris: Planejamento urbano regional integrado e sustentável*, pp. 1-12.
- Rocha, C.P.; Araújo, T.C.M. e Mendonça, F.J.B., (2008). “Aplicação de técnicas de posicionamento GPS tridimensional para localizar linhas de costa: estudo de caso na praia de Boa Viagem, Recife-PE, Brasil”, *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 8 (2), pp. 127-137.
- Ryabchuk, D.; Spiridonov, M.; Zhamoida, V.; Nesterova, E. e Sergeev, A., (2010). “Long term and short term coastal line changes of the Eastern Gulf of Finland: Problems of coastal erosion”, *Journal Coastal Conser, Springer Science*, pp. 1-10.
- Seeber, G., (2003). “Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications”, Berlin-New York, in *Walter de Gruyter*. 2 nd revised edition, 589 pp.
- Smith, R.A., (1991). “Beach resorts: A model of development evolution”. *Landscape and Urban Planning*, 21, pp. 189-210.
- Thieler, E.R. e Hammar-Klose E. S., (2000). “National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Gulf of Mexico Coast”, *U.S. Geological Survey*, Woods Hole, Massachusetts.

Lineamientos de Gestión Territorial en la parroquia Carayaca, estado Vargas.

Análisis de conflictos de uso de la tierra

Anays Florez Castillo*

Recibido el 2 de enero de 2017; aceptado el 15 de junio de 2017

Resumen

Con el propósito de identificar los conflictos de uso de la tierra en la parroquia Carayaca ubicada en el estado Vargas, en la presente investigación se utilizó la imagen de satélite LANDSAT 8-OLI para la estimación, análisis y cuantificación de los conflictos de uso. El proceso metodológico utilizado integra técnicas de procesamiento digital de imágenes de satélite con análisis espacial de la información temática, lo cual permitió determinar categorías de uso de la tierra y clases de cobertura vegetal. El análisis espacial reveló que la parroquia posee características particulares, aspectos naturales que le otorgan cierta fragilidad ambiental, intervención antrópica y presencia de Áreas Bajo Régimen de Administración Especial, que junto con el incumplimiento del ordenamiento jurídico vigente han propiciado la existencia de conflictos de uso. Se identificaron tres tipos de conflictos: normativos, por pendiente y por erosión, con una superficie de 43% del área total evaluada. Se concluye con estrategias de uso y manejo que conduzcan a dar soluciones a los conflictos, elevar la calidad de vida de la población, lograr un desarrollo económico sostenible, preservar los recursos naturales y fuentes de energía. Se recomienda el uso de prácticas conservacionistas que controlen la erosión, implementar programas y acciones que tengan por finalidad el ordenamiento territorial, mediante la coordinación, aplicación y supervisión de acciones que coadyuven a la regulación de la ocupación del territorio, aprovechamiento de recursos y la recuperación de áreas

* Universidad Central de Venezuela, Facultad de Humanidades y Educación, Instituto de Geografía y Desarrollo, Los Chaguaramos, 1050, Caracas, Venezuela, correo electrónico: anaysflorez_c@hotmail.com.

degradadas enmarcado en un proceso de participación y corresponsabilidad ambiental a fin de garantizar una gestión territorial eficiente.

Palabras clave: *uso de la tierra, análisis espacial, gestión territorial, erosión de suelo.*

Resumo

Com o propósito de identificar os conflitos de uso da terra na paróquia de Carayaca localizada no estado de Vargas, a presente pesquisa se utilizou de imagens de satélite LANDSAT 8-OLI para a estimação, análises e quantificação dos conflitos de uso. O processo metodológico utilizado integra técnicas de processamento digital de imagens com análise espacial da informação temática, que permitiu determinar categorias de uso da terra e classes de cobertura vegetal. A análise espacial revelou que a paróquia possui características particulares, aspectos naturais que lhe outorgam certa fragilidade ambiental, intervenção antrópica e presença de áreas sob regime de administração especial, que junto com a violação do ordenamento jurídico vigente tem propiciado a existência de conflitos de uso. Identificou-se três tipos de conflitos: normativos, devido a declives e os de erosão, com uma superfície de 43% da área total avaliada. Se conclui que com estratégias de uso e manejo que conduzam a dar soluções aos conflitos, possa se elevar a qualidade da vida da população, lograr um desenvolvimento econômico sustentável, preservar os recursos naturais e fontes de energia. Se recomenda o uso de práticas conservacionistas que controlem a erosão. Além disso, sugere-se a implementação de programas e ações que tenham por finalidade o ordenamento territorial, mediante a coordenação, aplicação e supervisão de ações que contribuam para a regulação da ocupação do território, aproveitamento de recursos e recuperação de áreas degradadas. Estas áreas deverão estar enquadradas em um processo de participação e corresponsabilidade ambiental a fim de garantir uma gestão territorial eficiente.

Palavras chave: *uso da terra, análise espacial, gestão do território, erosão do solo.*

Abstract

In order to identify land use conflicts in Carayaca located in Vargas state, in the following research the LANDSAT 8-OLI satellite image was used for the estimation, analysis and quantification of conflicts of use. The methodological process used integrates techniques of digital processing of satellite images with spatial analysis of thematic information, which allowed to determine categories of land use and types of vegetation cover. The spatial analysis revealed that the space has particular characteristics, natural aspects that give it some environmental fragility, anthropic intervention and presence of Areas Under Special Management Regime, which with the non-compliance of the current legal system have led to the existence of conflicts of use. Three types of conflicts were identified: normative, by slope and

erosion, with an area of 43% of the total evaluated area. It concludes with use and management strategies that lead to solve conflicts, raise the quality of life of the population, achieve sustainable economic development, and preserve natural resources and energy sources. It is recommended to use conservation practices that control erosion, implement programs and actions that have the purpose of land-use planning, by coordinating, applying and supervising actions that contribute to the regulation of land-use occupation, resource utilization and recovery of degraded areas framed in a process of participation and environmental co-responsibility in order to ensure efficient land-use management.

Key words: *land use, spatial analysis, land-use management, soil erosion*

Introducción

El continuo proceso de ocupación del territorio y la presión por la expansión de la frontera agrícola en la parroquia Carayaca del estado Vargas, se ha desarrollado en un territorio con características naturales restrictivas y frágiles mayormente montañoso, con pronunciadas pendientes, una estrecha faja litoral y la presencia de Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) en gran parte de la parroquia, ocupando una superficie estimada de 29 087 ha (61% aproximadamente, respecto a la referida unidad político-territorial).

Dicha parroquia es una de las pocas áreas agrícolas del estado, en donde según el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (MARNR, 1985), la presencia humana a través de diversas actividades en áreas con condiciones frágiles, es decir, la ocupación de áreas físicamente no aptas que propician la transformación de ecosistemas naturales en intervenidos, ésta es parte de la problemática ambiental de la parroquia, en la cual dichos problemas se refieren a sobreutilización y degradación de recursos.

El área posee características particulares por la presencia de cinco ABRAE, que definen usos y restricciones desde el punto de vista legal y ambiental, en los últimos años se han visto afectadas por el avance de las ocupaciones del territorio, producto de invasiones y explotaciones agrícolas, evidenciándose áreas deforestadas en la parte alta de las cuencas. Los conflictos surgen, por una parte, debido a que las invasiones promueven el uso del suelo no acorde con sus potencialidades, y por otra la falta de instrumentos de evaluación, control y monitoreo sobre las ABRAE.

En la parroquia se han detectado innumerables problemas como establecimientos no conformes de viviendas, consolidación de desarrollos agrícolas no controlados, degradación de suelos, y contaminación de aguas por la ausencia de prácticas conservacionistas y uso indiscriminado de biocidas, pesticidas y fertilizantes (Ministerio del Poder Popular para el Ambiente—MPPA, 2011).

Por las razones antes expuestas, es fundamental identificar el uso actual en las áreas con potencialidades y limitantes naturales con miras a definir áreas de conflic-

tos, entre ellos, conflictos normativos en las ABRAE, considerando que de continuar dicha tendencia a corto plazo se podrá evidenciar un mayor avance de la frontera agrícola en las áreas no aptas y no permitidas según la normativa actual.

En este contexto, se plantea como objetivo formular propuestas de uso y manejo de los recursos a través del análisis de las zonas de conflicto de uso de la tierra, que puedan contribuir con los lineamientos de la gestión territorial en la parroquia Carayaca, estado Vargas.

Procedimiento metodológico

En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica y cartográfica para cumplir con el objetivo propuesto a fin de obtener los fundamentos teórico-conceptuales sobre el tema, el marco legal y normativo, y el diagnóstico de los subconjuntos físico-natural, socio-económico y político-administrativo.

En segundo lugar, se utilizó la imagen LANDSAT 8- OLI (escena p004 r053) de enero de 2014, la cual fue procesada a través Software Erdas, por medio de técnicas de procesamiento digital en imágenes de satélite junto con el análisis espacial de la información temática a través del software ArcGis 10.2.1. Se aplicaron técnicas de realce y algoritmos (histograma de ecualización), mejoras visuales por medio de composiciones en falso color. Se crearon también imágenes nuevas para extraer información adicional, de este modo se elaboró un Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) que minimiza el efecto del suelo y las posibles perturbaciones atmosféricas sobre la vegetación.

Luego de este preprocesamiento de la imagen se definieron categorías teniendo en cuenta las características del área de estudio, estableciendo a priori una leyenda con seis categorías de usos discriminables en la imagen (Bosque Siempreverde, Bosque Semidecduo, Matorral, Uso Agrícola, Sombras, Sin Cobertura Vegetal). Para clasificar la imagen se optó por el método de clasificación no supervisado, por ser el más apropiado para el área de estudio. El algoritmo de clasificación empleado es de tipo paramétrico; se trabajó al 95% de confiabilidad de la clasificación de la imagen, obteniendo resultados bastante satisfactorios y cercanos a la realidad.

Posteriormente se realizó una verificación en campo, para la identificación de coberturas de suelo y la corroboración de las clases de cobertura resultantes de la clasificación, obteniendo de esta manera el mapa de cobertura y uso actual.

Para la identificación de las zonas de conflicto, se elaboró un Modelo Digital de Elevación (MDE) de la parroquia Carayaca a partir de las curvas de nivel cada 20 metros y a escala 1:100 000 a través del software ArcGis, posteriormente se creó el mapa de pendientes con el Spatial Analyst tools del mismo software. Esto permitió realizar el análisis de tres tipos de conflictos:

- El análisis de conflictos normativos, se realizó por medio de la superposición entre la capa de ABRAE y áreas de cultivos existentes dentro de dichas áreas, los conflictos se determinaron a través del análisis del incumplimiento de la normativa actual correspondiente a los Decretos de creación, Planes de Ordenación y Reglamentos de Uso, Decreto N° 276 y la Ley de Aguas (2007).
- Análisis de conflictos por pendiente. Al realizar el análisis de la pendiente y la normativa de suelos establecida en la Ley de Forestal de Suelos y de Aguas (1966) y el Reglamento de la Ley de Forestal de Suelos y de Aguas (1977), se determinaron las áreas de conflicto por pendiente con respecto a las zonas de cultivo que no cumplen con la normativa establecida en dicho reglamento.
- Análisis de conflictos por erosión. Para determinar las áreas susceptibles a erosión se realizó un análisis entre la pendiente del terreno y la proximidad a los ríos (buffer de 300 m), correspondiente a la franja establecida como zona protectora de los cuerpos de agua, según la Ley de Aguas. El análisis se realizó mediante el software ArcGis y con la previa reclasificación de los raster obteniendo el mapa de erosión de la parroquia; posteriormente se realizó la superposición de esta capa con las áreas de cultivos y las unidades litológicas, para realizar el análisis con respecto a lo establecido en el Reglamento de la Ley de Forestal de Suelos y de Aguas.

Luego de efectuar el análisis de cada variable considerada para la determinación de conflictos de uso de la tierra, se realizó un mapa síntesis obteniendo como resultado las zonas de conflicto existentes en la parroquia.

Finalmente, se realizó el análisis de los resultados obtenidos tanto en la fase diagnóstico como la fase de análisis de conflictos, con la finalidad de determinar los factores y causas que originan la problemática para posteriormente establecer algunas estrategias como lineamientos de acción para garantizar la administración eficiente y el desarrollo de la parroquia.

Características generales del área de estudio

Localización

El área de estudio corresponde con la parroquia Carayaca del estado Vargas, localizada en la vertiente norte de la Serranía del Litoral (Figura 1). Se ubica entre las coordenadas UTM zona 19 N: 673 736,216 y 716 935,794 m E y 1 162 643,294 y 1 166 320,891 m N. Carayaca es la parroquia más grande del estado Vargas, posee una superficie de 47 691 ha, lo cual representa el 31.9% del área total del estado. Limita por el norte con el Mar Caribe, por el sur con el Distrito Capital y estado Aragua, por el este con la parroquia Catia La Mar y Distrito Capital y por el oeste con el estado Aragua.

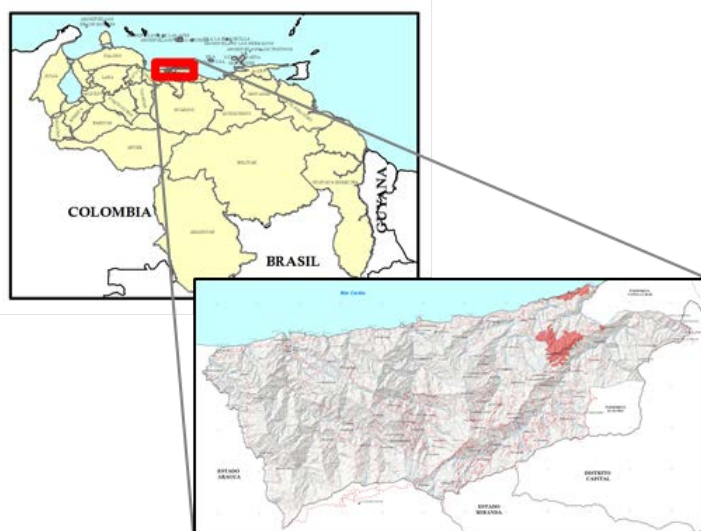


Figura 1. Localización del área de estudio.

Condiciones naturales y uso de la tierra

Las condiciones físico naturales presentes en el área de estudio están determinadas por su emplazamiento en la Cordillera de la Costa, cuya estructura está definida por el sistema de fallas del Caribe y San Sebastián, en la cual interactúan las tres asociaciones litológicas existentes. El área se encuentra influenciada por fallamientos geológicos antiguos y recientes, los cuales plegaron y modelaron la estructura actual, encontrándose una estructura con actividad tectónica caracterizada por un intenso fracturamiento y meteorización distintivo de la Serranía Litoral; aunado con la topografía abrupta ha propiciado inestabilidad y dinámica de estos materiales en laderas ocasionando raptación, deslizamientos y derrumbes.

Las condiciones climáticas son muy diversas, ya que existe un amplio nivel altitudinal, generando un extenso gradiente altotérmico y cuyas precipitaciones están condicionadas por las características orográficas predominantes que van desde condiciones de humedad semiáridas (corredor costanero), hasta subhúmedo.

Por otra parte, la parroquia cuenta con pocas potencialidades adecuadas para el desarrollo de cultivo dadas las condiciones de suelos existentes, por lo cual la mayor proporción de suelos en la parroquia debe estar sujetos a medidas de conservación, ya que, por poseer pendientes fuertes, son muy proclives a sufrir procesos erosivos intensos.

Como resultado de las condiciones climáticas, de las características de los suelos y la topografía, se presenta un gradiente de vegetación entre el nivel del mar y los 2 400 msnm el cual, mantiene un perfil ecológico muy importante representado

por la biodiversidad de plantas entre bosques siempreverde, bosques nublados y matorrales. El sector mantiene el más alto grado de conservación y equilibrio ecológico de la franja costera del estado Vargas, gracias a las ABRAE que han contribuido a su protección, este grado de conservación ha permitido la supervivencia de atractivos turísticos únicos como el submarinismo y el aprovechamiento de aguas termales.

La mayor proporción de la parroquia posee una configuración territorial con gran analogía, dadas las características rurales existentes y el predominio de la actividad agrícola. Por otra parte, al noroeste y litoral de la cuenca Petaquire por sus condiciones de emplazamiento y accesibilidad, se caracteriza por concentrar gran parte de la población y de los servicios, lo cual hace que este sector de la parroquia posea características urbanas y por ende una actividad económica con mayor diversidad, la dinámica es mayor con respecto a las interacciones e intercambio con centros poblados de mayor jerarquía aledaños a la parroquia.

Los centros poblados están distribuidos de forma dispersa, localizados por lo general en fondos de valles intramontanos, línea de costa y paralelos a las principales vías de comunicación, Carayaca constituye el centro poblado que concentra la oferta de servicios y flujos comerciales. Así pues, el crecimiento urbano ha ocasionado el aumento de zonas con condiciones precarias, observándose ranchos y viviendas en mal estado que han surgido de manera espontánea sin ningún tipo de planificación y en algunos casos producto de invasiones.

En relación con la configuración del territorio está vinculada a los sistemas agrícolas consolidados en la parroquia Carayaca desde la época agroexportadora de Venezuela, la actividad agrícola, principalmente hortícola fue creciendo progresivamente, configurándose la red vial actual consistente en su mayor parte de vialidad agrícola y caminos de penetración, estas vías locales y ramales agrícolas, han constituido las columnas vertebrales en las que se ha apoyado las transformaciones de la organización territorial de la parroquia, ya que, permiten comunicar áreas agrícolas dispersas por la accidentada topografía de la parroquia con los principales centros poblados de la misma, observándose una concentración de la red vial en la sección este de la parroquia.

Así mismo, el sistema de ramales y vialidad agrícola que conecta áreas rurales y centros poblados con las vías locales, vencen las dificultades que imponen las condiciones topográficas en las áreas montañosas y agregan un significativo impacto en la economía, al impulsar y dinamizar el comercio. Sin embargo, ha generado el avance de la frontera agrícola hacia zonas bajo régimen de administración especial, afectando áreas de frágiles ecosistemas y de gran biodiversidad al establecerse usos no conformes con lo establecido en la normativa vigente.

Resultados y discusión

Conflictos Normativos

Zona Protectora del Área Metropolitana de Caracas

Para el análisis de esta ABRAE se consideró el Plan de Ordenación y Reglamento de Uso de la Zona Protectora del Área Metropolitana de Caracas (1992), en el cual se constató que a pesar que existen dos unidades de ordenamiento, se evidencia incumplimiento del instrumento de ordenación debido a la existencia de usos no conformes. En la unidad de ordenamiento 10, correspondiente a la cuenca del río Petaquire, se pudo identificar que los sectores Las Lapas, Río Arriba y cuenca de la quebrada El Hondón, están siendo utilizadas para la actividad agrícola sin prácticas conservacionistas, no cumpliendo así con los artículos 19 y 23 de dicho reglamento.

Mientras que, el artículo 23 establece que en los suelos con pendientes entre 30-45% se permiten los cultivos permanentes, y tampoco se cumple debido a que se constataron áreas con cultivos hortícolas y sin prácticas conservacionistas en pendientes superiores a 30% en los sectores El Hondón, Río Arriba, Alto Lagunazo y Media Legua; incumpliendo también lo consagrado en el artículo 27, en donde se establece que en pendientes >30% se prohíbe los cultivos anuales y semipermanentes.

Ahora bien, de conformidad con el artículo 41 en la cuenca del río Petaquire solo se permite el uso de protección, agrícola conservacionista forestal y recreación; no obstante a través de las vistas a campo se pudo constatar que dicha cuenca está altamente intervenida sobre todo con cultivos hortícolas. Además, se observa en la cuenca cultivos anuales y semipermanentes en áreas con pendientes superiores a 45%.

En la unidad de ordenamiento 11, se evidencian conflictos en los usos protector, agrícola y residencial, ya que el artículo 22 establece que las instalaciones deben ubicarse fuera de zonas protectoras de cuerpos de agua, y en las microcuencas Pericoco, Tibroncito, Yagrumal, se evidencia el establecimiento de actividad agrícola dentro del área definida según la Ley de Aguas como zona protectora de cuerpos de agua.

Por otra parte, el uso residencial debe estar fuera de las zonas protectoras establecidas por la Ley de Aguas y en áreas con pendientes menor o igual a 30%, dicha norma no se cumple, debido a que existen zonas que están siendo destinadas para uso residencial dentro de los 300 m establecidos por la Ley de Aguas (artículo 54), igualmente se evidencian construcciones en pendientes superiores al 30% en las quebradas Pericoco, Tibroncito, Yagrumal y El Tigre.

Asimismo, en el reglamento se establece que la construcción para el uso residencial debe tener una densidad mínima de 20 hab/ha, llama la atención que no se cumple y se evidencia claramente con la formulación y ejecución de proyectos habitacionales de gran envergadura promovidos por el Estado, como lo es la creación de Ciudad Caribia que contempla la construcción de 20 000 apartamentos para 100 000 habitantes, por lo que afecta de manera directa la Zona Protectora, la poligonal de éste desarrollo está dentro de la unidad de ordenamiento 11.

Monumento Natural Pico Codazzi

A pesar que la figura tiene más de dos décadas de haber sido creada no posee plan de ordenación ni reglamento de uso, sin embargo las actividades se rigen por lo establecido en el Decreto N° 276, correspondiente al Reglamento Parcial de la Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio sobre Administración y Manejo de Parques Nacionales y Monumentos Naturales (1989).

Al analizar dicho reglamento, se evidencian incumplimiento de la normativa y actividades incompatibles con el monumento, en primer lugar no se cumple con los parágrafos 1 y 11 del artículo 16 en los que se prohíben actividades agrícolas y la construcción de establecimientos humanos en monumentos naturales, al contrario, se han fomentado y aunque dichas actividades se presentan de manera dispersa, se evidencia establecimientos agrícolas en los sectores Alto Lagunazo, Buenos Aires y en la naciente del río Limón, que tienen un efecto negativo en el monumento, debido a que se constataron en estas localidades cultivos hortícolas principalmente.

Por otra parte, el reglamento en su artículo 19 numeral 4, establece que se prohíbe el vertido de contaminantes de cualquier tipo a los cursos de agua, y dadas las condiciones existentes en los centros poblados dentro del monumento, no existe un sistema de recolección de aguas servidas, ni de recolección de basura que cubra toda la parroquia y que garantice la correcta disposición final de los mismos. Con la lamentable consecuencia del vertido de desechos sólidos dentro del monumento.

A pesar de que en dicho reglamento se establecen las normas por las cuales se rige la administración y manejo de los monumentos naturales, las mismas son muy generales, razón por la cual se requiere de lineamientos más específicos como lo son los planes de ordenación y sus respectivos reglamentos de uso, que se adapten a las necesidades y realidad del Monumento Natural Pico Codazzi y se consoliden en un instrumento de acuerdo a lo estipulado en la ley.

Zona de Utilidad Pública y de Interés Turístico Recreacional

Esta figura ABRAE, no posee plan de ordenación ni reglamento de uso que regule las actividades que allí se desarrollan, a pesar de haber sido creada hace más de cuatro décadas. Por ello, la figura se administra según lo establecido en el Decreto con Fuerza de Ley de Zonas Costeras (2001). En el Título III de dicho decreto, se establece de forma taxativa las actividades que quedan restringidas en el dominio público de la franja terrestre de las zonas costeras, así como también las prohibidas, no obstante, dicha ley no posee un reglamento por el cual se rijan las directrices establecidas, en consecuencia los lineamientos son muy generales. Por otra parte, tanto el Ministerio de Turismo (MINTUR) como el Instituto Socialista de la Pesca y Acuicultura (INSOPESCA) tienen injerencia, MINTUR para la otorgación de ocupación del territorio e INSOPESCA por la Ley de Marinas y Actividades Conexas.

Zona Protectora de los Cuerpos de Agua

Según el artículo 53 de la Ley de Aguas 2007, las zonas protectoras de los cuerpos de agua constituyen ABRAE para la gestión integral de las aguas; y en el artículo 54 numeral 2, se establece como zona protectora una franja de 300 m, a ambos márgenes de los ríos. Al realizar el análisis del buffer creado a partir de los cuerpos de agua y los 300 m decretados según la ley, se observa el establecimiento de la actividad agrícola dentro del mismo, las áreas donde se evidencia esta actividad corresponde a las cuencas altas y medias de los ríos Limón, Chichiriviche, Oricao y Petaquire principalmente.

El hecho que la zona protectora este siendo ocupada por la actividad agrícola contraviene lo señalado en el artículo 54 de la Ley de Aguas, en donde se establece que dichas zonas: “tendrán como objetivo fundamental proteger áreas sensibles de las cuales depende la permanencia y calidad del recurso...”, y al desarrollarse ésta actividad en la parte alta de las cuencas compromete la calidad del recurso aguas abajo, sobre todo por el vertido de contaminantes en los cursos de agua y en especial el uso de fertilizantes indispensables para los cultivos.

En síntesis, al analizar los lineamientos existentes para las ABRAE se observa que las estrategias de conservación y protección restringen las actividades agrícolas, pecuarias y residenciales principalmente. Sin embargo, dichas estrategias se quedan solo en los decretos y documentos técnicos, puesto que se declaran pero no se implementan, evidenciándose en algunos casos incumplimiento de las mismas y por ende el establecimiento de usos no conformes con lo establecido en la legislación actual, y en otros casos, vacíos jurídicos por la inexistencia de normativas específicas que regulen las actividades particulares compatibles con las figuras administrativas.

Conflictos por pendiente

Tanto en las ABRAE como el resto de la parroquia existe una fuerte restricción por la pendiente, más del 65% de la parroquia posee pendientes superiores a 40%, lo cual limita el desarrollo de actividades. Sin embargo, se observa el establecimiento de la actividad agrícola y asentamientos poblacionales en lugares no aptos y no permitidos para la misma.

Al realizar el análisis de la pendiente y la normativa de suelos establecida en la Ley de Forestal de Suelos y de Aguas, y el Reglamento de la Ley de Forestal de Suelos y Aguas, correspondiente a la utilización agrícola de los suelos, se observa incumplimiento del mismo, considerando que para las pendientes entre 15 y 35% según el artículo 175 se permiten cultivos limpios, anuales o semipermanentes; siempre y cuando se haga uso de prácticas conservacionistas que controlen la erosión. En la zona se evidencian cultivos frutales y hortícolas (brócoli,

repollo, cilantro, coliflor calabacín, ajo porro, lechuga y acelga), estos últimos sin prácticas conservacionistas, en algunos casos, en pendientes superiores a 15% en los sectores Las Lapas, Río Arriba, Arbolito, El Hondón, El Tigre, Alto Lagunazo, Media Legua y Tibroncito. De igual manera, encontramos cultivos hortícolas en suelos con pendientes superiores a 35% en los sectores antes mencionados; y tampoco se cumple con el artículo 176, que establece para pendientes entre 35 y 50% el uso apropiados son cultivos permanentes como café y frutales, implementando prácticas conservacionistas.

Además de ello, según lo señalado en el artículo 178, en pendientes superiores a 35% no se podrán establecer cultivos erosivos, evidentemente esto no se cumple. Las zonas con mayor conflicto por pendiente corresponden a las cuencas altas y medias de los ríos Chichiriviche, Petaquire y Oricao principalmente.

Igualmente, según el párrafo segundo del título IX del Reglamento, las áreas con pendientes medias superiores a 35% quedan excluidas de la actividad agropecuaria, no obstante, se identificaron áreas con actividad agropecuaria en pendientes superiores al 35% en el sector Tibroncito.

De acuerdo a las restricciones por pendiente, y atendiendo a las consideraciones establecidas en la normativa, se puede afirmar que dentro de la parroquia la superficie que ofrece potencialidades para la actividad agrícola es muy baja, aproximadamente un 25% de la superficie total, siempre y cuando se haga uso de prácticas conservacionistas. Por su parte, el resto de la superficie de la parroquia presenta pendientes fuertes que son propensas a sufrir procesos erosivos, razón por la cual, deben estar sujetas a medidas conservacionistas considerando que es en estas zonas donde se ubican las nacientes de los principales ríos de la parroquia.

Conflictos por erosión

En Venezuela la agricultura sobre pendientes superiores al 10 o 15% ha dado como resultado una fuerte erosión y la pérdida de suelos valiosos. Sin embargo, estos problemas erosivos no son el producto de la ineptitud de los suelos para ser cultivados, sino el resultado de malas prácticas agrícolas (Sistemas Ambientales Venezolanos, 1982). La parroquia Carayaca no escapa a esta realidad, caracterizada por ser un área agrícola con pendientes restrictivas para dicha actividad, especialmente para el tipo de cultivo limpios, como los hortícolas, dadas las elevadas tasas de erosión a que están propensos los suelos.

En este contexto, se realizó un análisis de las áreas con mayor riesgo de erosión en la parroquia considerando la pendiente del terreno y la proximidad de los ríos correspondiente con la zona protectora de los cuerpos de agua establecida en el artículo 54 de la Ley de Aguas. Como resultado del análisis, se identificaron las zonas susceptibles a erosión, las cuales ocupan una superficie de 12 104,49 ha, lo

que representa un 25% de la parroquia y se localizan principalmente en la cuenca alta del río Oricao, Petaquire y Limón, en dichas cuencas se evidencia la existencia de cultivos hortícolas dentro de la zona protectora de los cuerpos de agua.

Dicha situación es preocupante, considerando la investigación llevada a cabo por Fernández (1994), en la estación experimental Bajo Seco ubicada dentro del área de estudio en la cuenca del río Petaquire, esta investigación determinó que las pérdidas de suelo son mayores en los usos hortícolas que en los suelos bajo usos permanentes, y ello se explica por la mayor consolidación del suelo y cobertura a ras del suelo que proporcionan los cultivos permanentes. Asimismo, asevera que el uso del suelo homogeniza el comportamiento de este ante la erosión, los suelos bajo un mismo tipo de uso tienden a parecerse debido a ciertas características que adquieren por el tipo de utilización, a consecuencia de la incorporación de materia orgánica y el grado de mecanización.

La afirmación anterior explica que en suelos donde el tipo de uso requiere alterar periódicamente las condiciones superficiales por medio de la mecanización, el volumen de materia orgánica a incorporarse al suelo es muy bajo; por tanto la erosión tiende a ser mayor, tal es el caso de los cultivos hortícolas en las cuencas altas de la parroquia Carayaca.

Por otra parte, al evaluar el Reglamento de la Ley de Suelos en su artículo 178 señala que en pendientes mayores a 35% no podrán ser aprovechados para el establecimiento de cultivos erosivos, sin embargo, se constató que en estas pendientes se han establecido cultivos hortícolas que son altamente erosivos, al mismo tiempo que se ubican en las zonas determinadas por el presente estudio como susceptibles a erosión.

Análisis de los conflictos

Existe en la parroquia un total de 20 332,82 ha con conflicto de uso, que representa aproximadamente un 43% del total de la parroquia (Tabla 1). El conflicto que tiene mayor proporción es el conflicto por pendiente (Figura 2); esto es explicado por las condiciones topográficas de la parroquia, caracterizada por presentar un relieve abrupto donde aproximadamente 82% de la superficie posee pendientes superiores a 35%. A pesar de esta restricción y escasas áreas para el aprovechamiento, esto no ha sido una limitación para el desarrollo de la actividad agrícola principalmente, al igual que tampoco ha sido una limitación la existencia de reglamentos que establecen como prioridad el uso conservacionista de estas áreas, dada la susceptibilidad a procesos erosivos y fragilidad de los ecosistemas.

Por otra parte, el conflicto en las ABRAE está presente aunque en menor proporción que el conflicto por pendiente. Sin embargo, por las condiciones físicas, gran

Tabla 1
Superficie de conflictos

Tipo	Área (ha)	%
Conflicto en pendiente > 40%	8 386.48	17.59
Conflicto en ABRAE	4 052.86	8.50
Conflicto en ABRAE y pendiente >40%	7 893.48	16.55
Conflicto en la parroquia Carayaca	20 332.82	42.63

Fuente: elaboración propia.

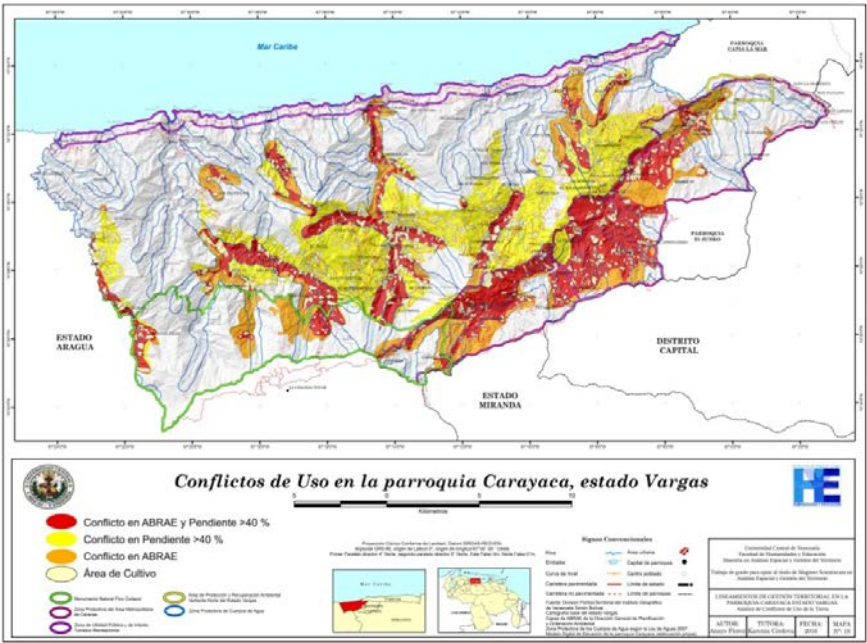


Figura 2. Conflictos de uso

biodiversidad y endemismo de las especies características de la parroquia, las cuales han sido motivos para su declaración como figuras administrativas, hacen que las abrae tengan gran importancia ecológica para la parroquia. Por esta razón, las actividades que allí se desarrollan deben tener armonía con los objetivos de conservación para las cuales fueron creadas; es de gran preocupación, pues evidentemente no se están cumpliendo, lo cual pone en riesgo la preservación de las especies.

De igual manera, considerando la importancia de las ABRAE en la parroquia, que ocupan aproximadamente 61% de la superficie, de las cuales 25% fueron determi-

nadas en la presente investigación como áreas de conflicto en ABRAE, es decir que el 41.1% de las figuras bajo administración especial poseen conflicto. El área identificada con conflicto tanto por pendiente como por ABRAE ocupa el 17% de la parroquia.

Propuestas de uso y manejo de los recursos de la parroquia Carayaca

Una vez realizado el análisis de las condiciones fisiconaturales, socioeconómicas, políticas y normativas de la parroquia Carayaca, fue posible determinar los conflictos existentes derivados de la dinámica socioterritorial, en función de ello se establecieron algunos lineamientos de acción con base de ordenación territorial:

- Elaborar los Planes de Ordenación y Reglamento de Uso para las áreas que no cuentan con dicho instrumento, revisar evaluar y actualizar el Plan de Ordenación y Reglamento de Uso de la Zona Protectora del Área Metropolitana de Caracas, la institución que tiene competencia para ello es el Instituto Nacional de Parques (INPARQUES).
- Revisar y evaluar el solapamiento de las ABRAE para atenuar conflictos de uso y de competencia, a fin de sincerar espacios actualmente ocupados por usos no conformes, lo cual le corresponde al INPARQUES.
- Creación de un catastro rural, que permita conocer la vocación de uso de la tierra de cada unidad de producción, de manera de monitorear la conformidad de usos de la tierra. Siendo un insumo valioso para la contribución a la definición usos conformes, capacidad de carga de ecosistemas, recuperación y resiliencia, etc. La Alcaldía debe abocarse a ello apoyándose en instituciones como el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB) y el Instituto Nacional de Tierras (INTI).
- Dadas los fuertes y continuos procesos erosivos a que están propensos los suelos de la parroquia en pendientes >40%, no deben establecerse cultivos hortícolas en estas áreas; solo se debe permitir el uso agrícola de cultivos permanentes con prácticas conservacionistas que controlen la erosión, pues la mayor parte de la parroquia posee fuertes pendientes y son propensas a sufrir procesos erosivos.
- Deben prohibirse los cultivos en las zonas protectoras de los cuerpos de agua y de esta manera cumplir con lo establecido en la Ley de Aguas.
- Se debe exhortar a las autoridades a no permitir desarrollos urbanísticos de gran envergadura en zonas frágiles y exigir por parte del Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas (MINEA) la elaboración de estudios de impacto ambiental para determinar la viabilidad de los proyectos.
- Realización de estudios detallados relacionados con: las propiedades y capacidades agroecológicas del área para determinar usos de la tierra compatibles y potenciales, tasas de erosión, arrastre y acarreo de sedimentos, movimientos en masa y procesos

hidrogeomorfológicos acentuados para determinar grado de vulnerabilidad ecológica y amenazas y riesgos a la población, etc. Tanto INTI como el Instituto Nacional de Desarrollo Rural (INDER) pueden propiciar la realización de dichos estudios, de igual manera instituciones de investigación y universidades constituyen actores fundamentales.

- Desarrollo de programas de reforestación en las partes altas de las cuencas con fines conservacionista, manejo integral de ecosistemas y uso sostenido del recurso agua, por medio del apoyo de MINEA en la parroquia.

Conclusión

Partiendo de la revisión bibliográfica y electrónica realizada en la investigación para conformar los principales lineamientos teórico referenciales, se puede afirmar que la mayoría de los estudios publicados realizan la identificación de conflictos de uso de la tierra por medio de cambios en la cobertura para dos o más momentos, y mediante la confrontación de los usos actuales con el uso potencial; mientras que muy pocas consideran los conflictos normativos en las abraes. Sin embargo, no se realiza un análisis exhaustivo del basamento legal para determinar dicho conflicto. En este particular, con la metodología empleada se logró analizar de manera detallada los conflictos normativos derivados de la aplicación de regulaciones frente a la problemática de ocupación de las abraes y la legislación sobre suelos, dejando en evidencia las inconsistencias, contradicciones y vacíos jurídicos por la cual se rigen las áreas protegidas de la parroquia. Este análisis constituye uno de los principales aportes de la investigación.

Adicionalmente, se destaca la importancia de la integración entre las técnicas de procesamiento digital de imágenes de satélite con el análisis espacial de la información temática para la identificación, análisis y cuantificación de los conflictos de uso de la tierra. Fundamentalmente por la utilidad de poder visualizar un área de gran extensión territorial, como lo es la parroquia Carayaca en una sola imagen, y a partir de allí poder diferenciar las categorías de uso y otras variables que interactúan en la configuración actual del territorio. Mediante la interpretación de la imagen LANDSAT 8-OLI, se logró cuantificar los conflictos en la parroquia Carayaca. Sin embargo, para identificar áreas agrícolas de menor dimensión que no se logran detectar por el sensor LANDSAT, es necesario realizar estudios de campo sobre localidades específicas o trabajar imágenes de mayor resolución espacial, a fin de identificar el impacto de las pequeñas parcelas sobre los conflictos de uso en la parroquia.

Considerando la importancia de las condiciones físicas, la gran biodiversidad y el endemismo de especies que han propiciado la declaración de ABRAE en la parroquia, es imprescindible que las actividades que se desarrollen sean cónsonas con los objetivos de conservación para los cuales fueron creadas, y es de gran preocupa-

ción que exista conflicto normativo en las ABRAE. Igualmente, es necesario identificar los actores implicados en el proceso de ordenación del territorio, definir los instrumentos de participación y diseñar canales apropiados para lograr la coordinación entre los organismos ejecutores de obras físicas, las comunidades y los entes administradores de recursos; para que tomen como base las propuestas de uso y manejo derivadas de la presente investigación, a fin de diseñar lineamientos estratégicos y acciones de programación enmarcadas dentro del proceso de gestión para la ordenación del territorio de esta importante área agrícola.

Bibliografía

- Fernández, L., (1994). “Evaluación del riesgo de erosión por salpique en suelos de la cuenca alta del río Petaquire”, Caracas: Palmaven, Venezuela, 2 (2).
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), (1985). “Esquema de Ordenamiento Territorial de la parroquia Carayaca”, Dirección General Sectorial de Planificación y Ordenación del Ambiente, Caracas.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA), (2011). “Diagnóstico Integral de las Cuencas Hidrográficas Petaquire y Oricao de la Parroquia Carayaca, Estado Vargas”, Caracas.
- República de Venezuela, (1966). Ley Forestal de Suelos y Aguas, *Gaceta Oficial* núm 1 004, Extraordinario de fecha 26 de enero de 1966.
- República de Venezuela, (1977). Decreto N° 2117, *Gaceta Oficial* núm 2022, Extraordinario de fecha 28 de abril de 1977, mediante el cual se crea el Reglamento de la Ley Forestal de Suelos y de Aguas.
- República de Venezuela, (1989). Decreto N° 276, *Gaceta Oficial* núm. 4 106, Extraordinario de fecha 9 de junio de 1989, mediante el cual se crea el Reglamento Parcial de la Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio sobre Administración y Manejo de Parques Nacionales y Monumentos Naturales.
- República de Venezuela, (1992). Decreto 2299, *Gaceta Oficial* núm 35133, fecha 18 de enero de 1993, mediante el que se crea el Plan de Ordenación y Reglamento de Uso de la Zona Protectora del Área Metropolitana de Caracas.
- República Bolivariana de Venezuela, (2001). Decreto N°1468, *Gaceta Oficial* núm. 37 349 de fecha 19 de diciembre de 2001, mediante el cual se crea el Decreto con Fuerza de Ley de Zonas Costeras.
- República Bolivariana de Venezuela, (2007). Ley de Aguas, *Gaceta Oficial* núm. 38 595, de fecha 2 de enero de 2007.
- Sistemas Ambientales Venezolanos, (1982). “Los problemas ambientales de Venezuela”, Proyecto VEN/79/001, serie III documento N° 6. 223 pp.

Desarrollo de estrategias para integración de las Redes Verticales de América del Sur con base en los términos de referencia SIRGAS/GGOS/IAG

Andrea Galudht Santacruz Jaramillo*

Recibido el 4 de junio de 2017; aceptado el 11 de octubre de 2017

Resumen

Los Sistemas Verticales de Referencia (SVRs) junto con sus materializaciones nacionales, regionales y globales, se encuentran en una evolución significativa en los últimos años debido a que son fundamentales para el monitoreo de procesos físicos asociados a cambios en el Sistema Tierra. El aval de los sistemas de observación Terrestre proviene del *Global Geodetic Observing System* (GGOS) soportado por la *International Association of Geodesy* (IAG). Estas organizaciones se basan en estándares y términos de referencia para generar información geoespacial precisa y confiable. El Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), referente a su Grupo de Trabajo III: *Datum Vertical*, busca atender las exigencias de GGOS/IAG para proporcionar un Sistema Vertical de Referencia SIRGAS (SVRS) moderno. Para esto se debe homogeneizar y unificar las Redes Verticales de Referencia Nacionales (RVRNs) considerando el campo de la gravedad. Esta investigación presenta la metodología desarrollada para un inventario de metadatos de la RVRN del Ecuador en vista de los términos de referencia de SIRGAS/GGOS/IAG, el cual puede servir de base para el desarrollo de estrategias para integrar las Redes Verticales de América del Sur. Además, este inventario contribuye a la futura creación de una Infraestructura de Datos Espaciales para las Américas, según los objetivos de UN-GGIM: Américas.

Palabras clave: *Sistemas y Redes Verticales de Referencia Nacionales y Global, Inventario, IDE, SIRGAS, GGOS, metadatos.*

* Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Rua Cel. Francisco Heráclito dos Santos 210, Jardim das Américas, Curitiba, PR, Brasil, 81531-970, e-mail: andrea.santacruz@ufpr.br

Resumo

Os Sistemas Verticais de Referência (SVRs) junto com suas materializações nacionais, regionais e global, se encontram em uma evolução significativa nos últimos anos, a qual é fundamental para o monitoramento de processos físicos associados a mudanças no Sistema Terra. O aval dos sistemas de observação Terrestre vem do *Global Geodetic Observing System* (GGOS) suportado pela *International Association of Geodesy* (IAG). Estas organizações baseiam-se nos padrões e termos de referência para gerar informação geoespacial precisa e confiável. O Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), especificamente no Grupo de Trabalho III: *Datum Vertical*, busca atender as exigências de GGOS/IAG para proporcionar um Sistema Vertical de Referência SIRGAS (SVRS) moderno. Para isso deve-se homogeneizar e unificar as Redes Verticais de Referência Nacionais (RVRNs) considerando o campo da gravidade. Esta investigação apresenta a metodologia desenvolvida para um inventário de metadados da RVRN do Equador em vista dos termos de referência de SIRGAS/GGOS/IAG, que poderá servir de base para o desenvolvimento de estratégias para integração das Redes Verticais da América do Sul. Além disso, este inventário contribui para uma futura criação de uma Infraestrutura de Dados Espaciais para as Américas, segundo os objetivos do UN-GGIM: Américas.

Palavras chave: *Sistemas e Redes Verticais de Referência Nacionais e Global, Inventário, IDE, SIRGAS, GGOS, metadados.*

Abstract

The Vertical Reference Systems (VRSs) along with their national, regional and global materializations in frames, have been in a significant evolution in the last years because they are fundamental for the monitoring of physical processes associated with changes in the Earth System. The endorsement of Earth observation systems comes from the Global Geodetic Observing System (GGOS) supported by the International Association of Geodesy (IAG). These organizations are based on standards and reference terms to generate accurate and reliable geospatial information. The SIRGAS (*Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas*), in the context of its Working Group III: Vertical Datum, aims to meet the requirements of GGOS/IAG to provide a modern SIRGAS Vertical Reference System (SVRS). For this, it is necessary to homogenize and unify the National Vertical Reference Networks (NVRNs) considering the gravity field. This research presents the methodology developed for an Ecuadorian NVRN metadata inventory in view of the SIRGAS/GGOS/IAG reference terms. The achieved results can serve as a basis for the development strategies for the integration the Vertical Networks in South America. Also, this inventory contributes for building a future Spatial Data Infrastructure for the Americas according the objectives of the UN-GGIM: Americas.

Keywords: *National and Global Vertical Reference Systems and Frames, Inventory, SDI, SIRGAS, GGOS, metadata.*

Contribución del trabajo

Uno de los objetivos de este artículo es resumir el trabajo realizado en la tesis de maestría de Santacruz (2015), con la cual se generó el artículo de Santacruz Jaramillo *et al.* (2015). Es importante recalcar que este tema ha sido bastante debatido durante estos últimos años y que hasta la época ya se han generado nuevos estudios, convenciones y resoluciones acerca de Redes Verticales, tal como es presentado, por ejemplo, en De Freitas (2015), Ihde *et al.* (2015), Drewes *et al.* (2016) y Sánchez y Sideris (2017). Se destaca la relevancia del tema propuesto, el cual es recomendado en Angermann *et al.* (2016), en el ítem referente a Sistemas de Alturas y sus realizaciones. Considerando los antecedentes presentados, el presente trabajo realiza la vinculación de dos temas relevantes en el ámbito de la Geodesia y de la Información Geoespacial. Por lo tanto, se puede señalar que existen dos importantes contribuciones. La primera con ámbito en la Geodesia, la cual es la propuesta de una metodología para la generación de estrategias de solución para la integración de las redes verticales de América del Sur. Esta metodología puede ser base para la búsqueda del análisis de los datos y metadatos de cada país, y puede ser modificada dependiendo de sus propias condiciones. La segunda contribución se refiere al uso de datos geoespaciales estandarizados, lo cual desencadena una serie de necesidades futuras que atienden a la creación o actualización de Base de Datos y Metadatos vinculados a una IDE. Esto, permitirá el intercambio y la interoperabilidad de datos con la finalidad de facilitar información al usuario, específicamente enfocado al almacenamiento de datos geodésicos de SIRGAS.

Estado del Arte

A nivel mundial, existen organizaciones y servicios científicos que buscan generar geoinformación con precisión y confiabilidad necesaria para aplicaciones en los más diversos campos de actividades. Estas informaciones de forma específica y en función de su aplicabilidad, son las necesarias para el desarrollo de estudios y proyectos focalizados en la solución de problemas referentes a la dinámica del Sistema Tierra, englobando investigaciones en las diferentes ramas de la Geodesia. Actualmente, la visión de la Geodesia está direccionada hacia el uso de diferentes y modernas herramientas para la obtención de información espacialmente referenciada.

La Asociación Internacional de Geodesia (IAG) es la organización que se dedica a la coordinación de todas las actividades de la Geodesia en el planeta y, en especial, tiene un enfoque central en la investigación de frontera de esta Ciencia. La IAG

promueve la cooperación científica, avance e investigación en Geodesia en escala global y genera contribución a través de varios organismos de investigación (IAG, 2014). Los objetivos se enfocan en el estudio de todos los problemas geodésicos relacionados con la observación de la Tierra asociados a los cambios globales. La IAG se encuentra estructurada en diferentes Servicios científicos, Comisiones, Sub-comisiones e Inter-comisiones, que permiten generar investigación en ramas específicas como: Sistemas de Referencia; Campo de la Gravedad Terrestre; Rotación de la Tierra y Geodinámica; Posicionamiento y sus aplicaciones. Fue creada la Inter-Comisión 1.2 (*IAG Inter-Commission Project 1.2: Vertical Reference Frames* —IAG ICP 1.2) con el propósito de establecer convenciones para la definición del Sistema Global de Alturas —SGA (conocido en inglés como *World Height System* —WHS) o Sistema Vertical de Referencia Global —SVRG (*Global Vertical Reference System* —GVRs) y su materialización a través de la Red Vertical de Referencia Global —RVRG (*Global Vertical Reference Frame* —GVRF) basado en el geopotencial. Dicha información puede ser consultada en Ihde *et al.* (2007): *Conventions for the Definition and Realization of a Conventional Vertical Reference System* (CVRS). Para cumplir con este objetivo, fue necesaria la creación de varios proyectos de apoyo, para dar continuidad con los objetivos y para evaluar estas convenciones. En 2011 la IAG, integró los trabajos designados a la IAG ICP 1.2 al proyecto *Global Geodetic Observing System* (GGOS) con el objetivo de recopilar los datos geodésicos globales para generar una infraestructura y base científica interoperable que servirá en los estudios referentes al cambio global en Ciencias de la Tierra. GGOS tiene como visión el avance y la continuidad de los estudios referentes a la dinámica del sistema Tierra relacionando la cuantificación de los cambios globales en espacio y tiempo. Por lo tanto, providencia una infraestructura geodésica precisa para el monitoreo del Sistema Tierra (PLAG Y PEARLMAN, 2009). Con un enfoque en la importancia para la ciencia y la sociedad del desarrollo de temas que integren grupos interdisciplinarios, GGOS dividió sus investigaciones en tres temas. Siendo el Tema1: Estandarización de un Único Sistema Global de Alturas o SVRG, el foco de esta investigación. El objetivo central es proporcionar un Sistema Vertical de Referencia Global relacionado al campo de la gravedad global, el cual:

- Sea compatible con el ITRS;
- Tenga una componente física con precisión de (1 ppb) ~1 cm en las coordenadas verticales (Plag y Pearlman, 2009);
- Permita la unificación de todos los Sistemas Verticales de Referencia Nacionales (SVRNs) existentes;
- Garantiza coordenadas verticales con una consistencia global y estabilidad a largo plazo (Kutterer *et al.*, 2012).

Siguiendo la línea de investigación, el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) forma parte de la Comisión 1 de la IAG y pertenece al Grupo de Trabajo de la Comisión de Cartografía del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), el cual corresponde a la Organización de los Estados Americanos (OEA). Esta organización es la base para el desenvolvimiento de proyectos que tienen como objetivo la generación y uso de información georreferenciada en América del Sur, América Central y El Caribe. Dentro de SIRGAS se establecieron grupos de trabajo. El Grupo de Trabajo III: *Datum* Vertical (SIRGAS-GTIII), tiene nuevos objetivos relacionando términos de referencia de GGOS, que actualmente se encuentran en la vanguardia del conocimiento, los cuales permitirán tener la base para la integración de los SVRN y con esto, el establecimiento de un Sistema Vertical de Referencia SIRGAS (SVRS), relacionado con el campo de la gravedad que sea completamente consistente, con estabilidad en el tiempo, homogeneidad y alta fiabilidad. La componente geométrica tiene como superficie de referencia el *datum* SIRGAS (elipsoide geocéntrico del *Geodetic Reference System 1980* - GRS80) y alturas elipsoidales como coordenadas. La componente física del nuevo sistema de referencia vertical incluye: nivelaciones de primer orden, valores de gravedad, números geopotenciales, registros mareográficos y datos de altimetría satelital. Además, se define por un nivel global unificado de referencia W_0 y números geopotenciales como coordenadas verticales fundamentales (Sánchez, 2009; SIRGAS, 2014). El nuevo Sistema Vertical de Referencia SIRGAS se establecerá sobre los términos de referencia de GGOS/IAG, los cuales darán al sistema homogeneidad, estabilidad a largo plazo y alta confiabilidad.

A través de la Figura 1, se observa en forma general los lineamientos para establecer el SVRS, el cual depende de las metodologías de integración de todos los SVRN y de las convenciones del SVRG.

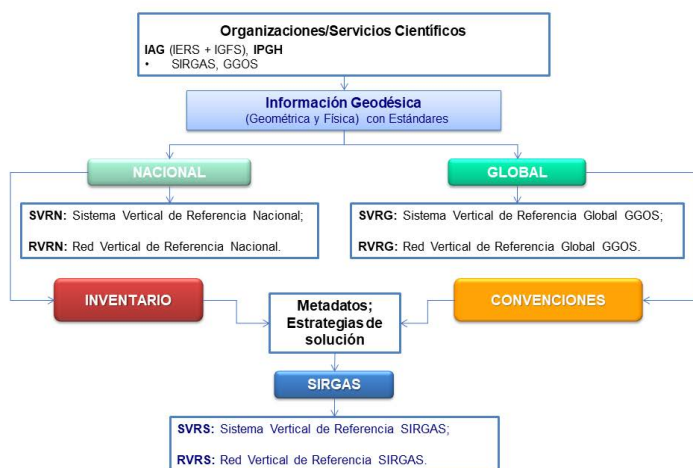


Figura 1. Establecimiento del SVRS.

Fuente: Santacruz, 2015.

Para atender este objetivo, diversos autores como De Freitas *et al.* (2002), Drees *et al.* (2002), Sánchez y Luz (2011) entre otros, comenzaron con el estudio de cómo hacer posible esta integración. Considerando las contribuciones de los autores, se visa la necesidad de implementar o adaptar a las condiciones locales, convenciones globales como complemento. Dichas convenciones globales fueron creadas para la definición y realización de un SVRG (Ihde *et al.*, 2007). Por esta razón, se usa los términos de referencia de la SIRGAS/GGOS/IAG (Kutterer *et al.*, 2012), que dan directrices sobre la unificación de un SVRG y que actualmente es la base para todo tipo de investigación que envuelve el estudio de la dinámica terrestre y su aplicabilidad a la sociedad.

Considerando estos puntos, se realza la importancia que tiene las relaciones entre organizaciones con fines comunes. En este caso, el de buscar la unificación de las RVRNs para el establecimiento de un SVRS con una vinculación futura a un Sistema Vertical de Referencia Global y la estandarización y difusión de los datos y metadatos interoperables, para generar herramientas de acceso para el usuario. El problema de esta unificación se basa en la incompatibilidad de los datos existentes de las redes nacionales debido a que su establecimiento fue realizado con diversas metodologías, bajo diferentes *data* verticales, con épocas distintas de realización. En general, estas realizaciones no consideran aspectos geodinámicos, entre otros factores importantes para ser considerados. Con lo expuesto, se puede considerar que las redes verticales presentan considerables discrepancias entre países, las cuales no permiten el intercambio consistente de geoinformación. Por lo tanto, no son aptos para la determinación de alturas a partir de técnicas GNSS (*Global Navigation Satellite System*) con combinación de los datos generados a través de los MGGs (Modelos Globales del Geopotencial o *Global Geopotential Models*—GGMs), limitando así, la vinculación al SVRG. Otro problema de incompatibilidad se genera debido a la falta de organización y homogenización de los datos de las RVRNs, específicamente, la ausencia del almacenamiento de bases de datos estandarizadas.

Para poder desarrollar estrategias para la generación de posibles alternativas de conexión de las redes verticales pertenecientes a los países miembros de SIRGAS, es necesario estudiar cada una de las redes nacionales y recopilar toda la información existente de estas. La base de esta investigación es generar un inventario estandarizado basado en metadatos, que reúna tanto los estudios anteriormente realizados como los nuevos, con la visión de reunir todas las características específicas de las Redes Verticales y de las Redes Gravimétricas para la generación de estrategias nacionales. La modernización e integración de los SVRNs junto con el empleo de las convenciones para el establecimiento del SVRG, darán la pauta para la definición de un único SVRS con su respectiva Red Vertical de Referencia SIRGAS (RVRS), basada en diferencias de números geopotenciales consistentes

para el continente. Actualmente, este es el paso primordial para SIRGAS-GTIII, desde el punto de vista moderno de la Geodesia, para poder realizar la integración de cada una de las redes nacionales hacia una única Red Continental enlazada a un SVRG.

Con este trabajo se busca el establecimiento de estrategias, mediante la contribución y protagonismo de los países miembros de SIRGAS en el desarrollo, implementación y continuidad de este inventario. Esto trae consigo ventajas respecto a una visión futura del acceso y descentralización de la información, ya que provocará la necesidad de creación de una única Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) para SIRGAS. Esta IDE atenderá los objetivos de UN-GGIM: Américas (UN-GGIM AMÉRICAS, 2014), la cual permitirá la interoperabilidad e intercambio de geoinformación entre las posibles IDEs nacionales y globales, lo cual facilitará el uso de este tipo de información geodésica, atenderá los principios de uso de información abierta y el uso de software libre para beneficio del usuario y para el desarrollo de nuevas aplicaciones para bien de la sociedad.

Problema del Valor de Contorno de la Geodesia (PVCG) y números geopotenciales

La ecuación de Laplace $\Delta V_{ext} = 0$ considera la distribución de las masas en un punto exterior a las mismas, por lo tanto, no considera densidades (Gemael, 1999). El PVCG relaciona la condición de Laplace para la determinación del campo de la gravedad externo terrestre, a través del cálculo de una función armónica en el exterior de una superficie de contorno S desconocida (Hofmann-Wellenhof y Moritz, 2005).

Con la nueva visión de la Geodesia, el estudio del segundo PVCG es relevante en la determinación del Geopotencial W , considerando conocidos la geometría de la superficie de la Tierra y la gravedad sobre esta, variando la condición de contorno.

En las redes de nivelación clásicas, la determinación de W_P en un punto P es dada por:

$$W_P = W_{0_i} + C_P \quad (1)$$

En las Redes clásicas W_{0_i} es un valor arbitrado en los Data Verticales de cada país. Y el número geopotencial C_P en el punto P es:

$$C_P = W_{0_i} - W_P = \int g dn \cong \sum g_{m_i} \Delta m_i \quad (2)$$

La integral de la ecuación (2) representa la forma clásica práctica para la determinación de números geopotenciales con desniveles y el valor medio de la gravedad entre los extremos de una sección de nivelación. Y la primera parte de esta

misma ecuación figura la forma moderna para la determinación de números geopotenciales sin la necesidad de depender de nivelación, y si de datos gravimétricos y dados GNSS para su cálculo. Para aplicar esta forma, es necesario el uso del PVCG y la determinación de varios funcionales para el cálculo de W_P .

Para el cálculo de W_P es necesario la determinación del potencial perturbador T_P así como el uso del potencial normal U_P :

$$W_P = U_P + T_P \quad (3)$$

U_P es dado por:

$$U_P = U_0 + \frac{\partial U_0}{\partial h} h_P \quad (4)$$

Obtenido de U_0 , que es el potencial normal de la gravedad en el elipsoide de referencia. Por otra parte, T_P puede ser calculado segundo Heck (2011), por una solución de primer orden para el PVCG. Esta determinación es basada en la teoría de Molodensky, utilizado la solución por Brovar (1972):

$$T_P = \frac{R}{4\pi} \iint_S (g_P + g_1 + \dots) H(\psi) \cdot ds \quad (5)$$

Donde δ_g es el disturbio de la gravedad, R es el radio medio de la Tierra y $H(\psi)$ es la función de Hotine-Koch, la cual es presentada en Hofmann-Wellenhof y Moritz (2005), pp.115.

Para la determinación de T_P es necesario el cálculo del δ_g dado por la gravedad normal y la gravedad observada en el punto:

$$\delta_{g_P} = g_P - \gamma_P \quad (6)$$

Para que el resultado de T_P sea más refinado, puede ser determinado el δ_g residual a través de descomposición espectral y el uso de Modelos Globales del geopotencial, así como también de Modelos Digitales de Altura.

Estándares de la Información

La Organización Internacional para la Normalización (*International Organization for Standardization* - ISO) es responsable de planear, formular y adoptar Normas Internacionales (ISO/TC 211, 2014).

El ISO/TC 211 Información Geográfica / Geomática

Tiene como alcance la normalización en el campo de la información geográfica digital. Pretende establecer un conjunto estructurado de normas de información relativa a los objetos o fenómenos directa o indirectamente relacionados con una localización en relación con la Tierra. El ISO/TC 211 cuenta con una comunidad de usuarios, entre ellos se encuentra la iag y el ipgh, lo cual expresa la importancia que tiene la normalización de datos espaciales (ISO, 2003. Traducción: IPGH, 2010; ISO/TC 211, 2014).

Para desarrollar la investigación propuesta, se consideró la Norma ISO 19115: 2003 Información Geográfica – Metadatos y la ISO 19139 para la determinación de Conjunto de Datos Geográficos (CDG), perfil de metadatos, plantilla de metadatos. También fueron creados diagramas de clase de uso y de clases para un mejor entendimiento y desarrollo del trabajo.

Respecto a los Metadatos, por definición según UN-GGIM: Américas (2013), son el conjunto de información que describe los datos, incluyendo las características de su levantamiento, producción, calidad y estructura de almacenamiento, y lo que es esencial para promover su documentación, integración y despliegue, así como permitir su búsqueda y exploración. Todas las características obtenidas de los datos son base tanto para la identificación de posibles estrategias de solución, así como para un futuro establecimiento de una IDE. Basados en las descripciones anteriores, tenemos como resultado los metadatos recopilados que describen la parte de la Geodesia, así como la parte de Información Geoespacial, tal como se muestra en la Figura 2.

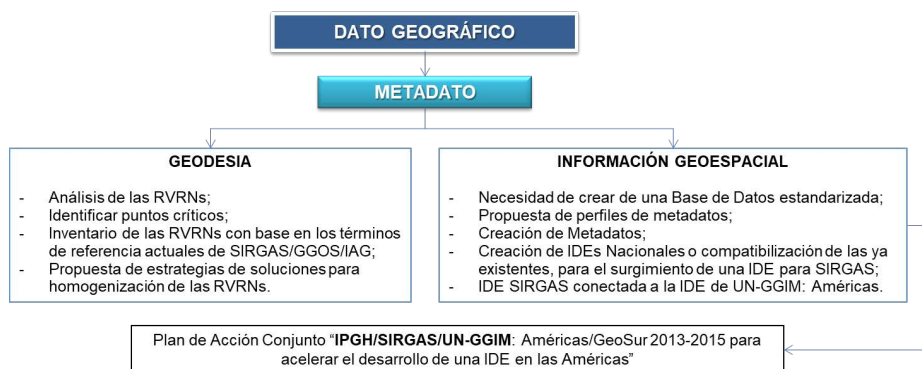


Figura 2. Uso de los metadatos.
Fuente: Santacruz, 2015.

Desarrollo metodológico y resultados

En los países miembros de SIRGAS, se muestra la falta de creación de DataBase (DB) o las deficiencias existentes en estas, tales como: datos difusos entre diferentes organismos inclusive dentro de un mismo país; DB creadas parte con datos libres y parte con datos propietarios; datos con diferente calidad, confiabilidad o con calidad desconocida; entre otras. Como resultado, se evidencia la necesidad de crear un inventario de los datos geodésicos existentes, el cual será el primer paso para el desarrollo de una DB que contenga la información necesaria para contribuir en la toma de decisiones respecto a la definición del nuevo Sistema Vertical de Referencia SIRGAS.

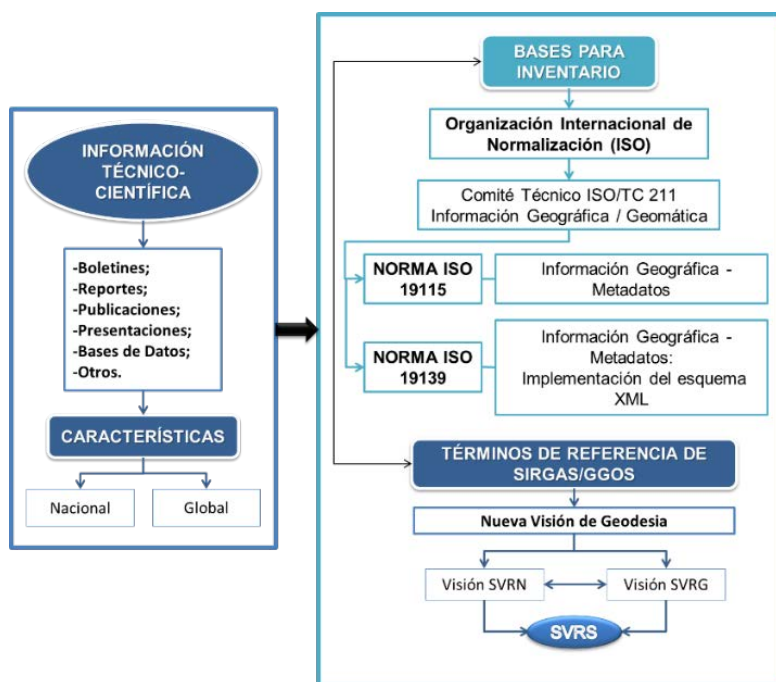


Figura 3. Esquema general de la metodología.

Fuente: Santacruz, 2015.

Para la realización del inventario, primeramente, se analizó el estado actual de los Sistemas Verticales existentes en la región SIRGAS, lo cual fue base para la recopilación de información técnica-científica de libre acceso que permita extraer características de los datos geodésicos nacionales y regionales. De esta forma se desarrolló una metodología basada en normas y estándares y que además puede ser aplicada para cualquier país (véase Figura 3). Como resultado, se generó Datos Geográficos clasificados según el análisis de las condiciones generales presentadas en los países pertenecientes a SIRGAS. Luego se los caracterizó como Tipo de Combinación de Datos con

la información relevante de las redes, considerando los términos de referencia actuales de SIRGAS/GGOS/IAG (Figura 4). Además, se consideró las posibles combinaciones de estos datos en el terreno ya que se analizó a detalle la información que se extrajo. Este inventario contiene la información producida por el análisis general de las RVRNs de SIRGAS, el análisis de la información del caso de estudio realizado (RVR del Ecuador) y aspectos críticos respecto a la definición de redes nacionales, así como de las nuevas metodologías de establecimiento para ser discutidos. Con toda esta información recopilada en el inventario, se generó estrategias de solución para poder cumplir con el objetivo principal de esta investigación. Este estudio muestra algunas opciones de cómo se puede homogenizar los datos locales para una posible unificación, contribuyendo con estudios ya realizados. Además, puede ser adaptado en cada país, dependiendo de sus características locales.

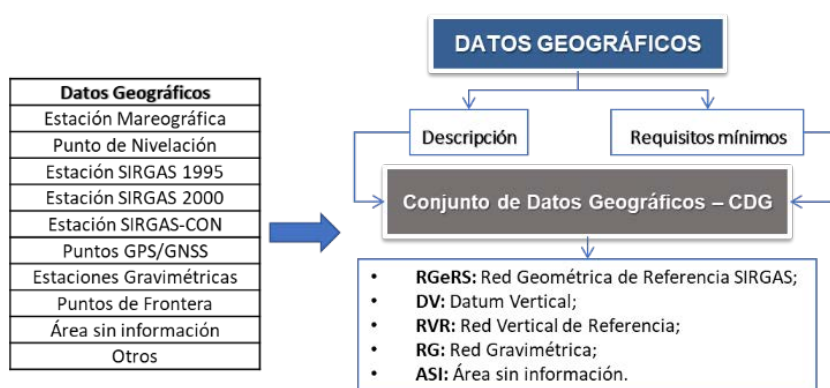


Figura 4. Datos geográficos y sus conjuntos.

Fuente: Santacruz, 2015.

El dato geográfico, definido así en ISO (2014), por ejemplo “Estación Mareográfica” y “Punto de Nivelación” ayudaron a entender como fue establecida la red vertical y su materialización en el tiempo, permitiendo generar estrategias de solución para la actualización de los Conjuntos de Datos Geográficos (CDG) Datum Vertical del Ecuador (DVE) y Red Vertical de Referencia del Ecuador (RVRE). Los datos geográficos “Estación SIRGAS 1995”, “Estación SIRGAS 2000”, “Estación SIRGAS-CON” y “Punto GPS/GNSS” muestran el estado del Sistema Geométrico de Referencia SIRGAS-Ecuador (SGeRS-Ecuador), el cual sirve como componente geométrica para el SVRS y representa un CDG. El dato geográfico “Estación Gravimétrica” permitió conocer cómo se podría establecer una Red Gravimétrica del Ecuador (RGE), generando estrategias para su creación y/o actualización para este CDG. El dato “Área sin Información” fue caracterizado con la finalidad de localizar las áreas con poca densificación de datos o áreas que no tengan datos terrestres, para generar estrategias

basadas en el PVCG (véase ecuación 1). para la obtención de datos a través de modernas herramientas como plataformas orbitales. Este es un punto relevante ya que se podría obtener en áreas de difícil acceso, soluciones basadas en MGGs y GNSS/gravedad sin depender de nivelación (véase ecuación 6). Por último, el dato “Punto de Frontera” sirve en el análisis de conexión entre países, para esto es indispensable la homogenización de datos y el trabajo conjunto basado en la misma metodología para enlazar un país con otro, mediante un sistema basado en números geopotenciales.

Para llegar a un mayor entendimiento respecto a la estructura de esta investigación, se lo considera como un Sistema en el cual se trabajó con datos geodésicos. Para esto se generó paralelamente Diagramas de Caso de Uso general (Véase Figura 5). Diagramas de Caso de Uso junto con Diagrama de Clases para Ecuador (Santacruz, 2015). Estos dan a conocer cómo se está observando el Sistema, tanto dentro como fuera de este.

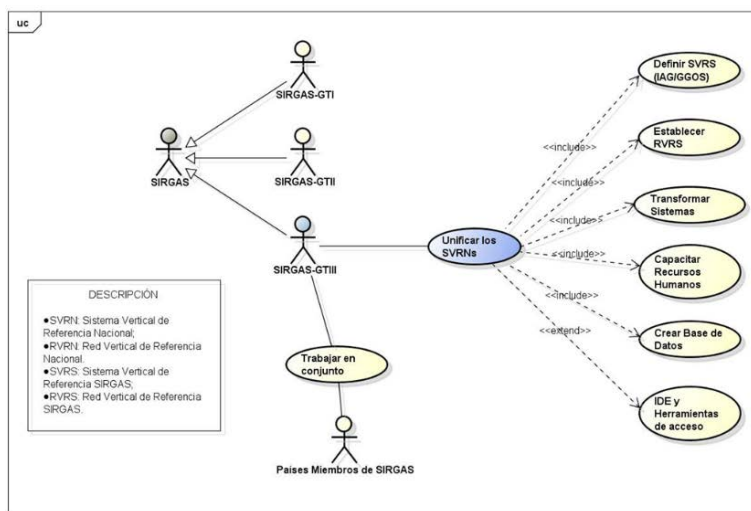


Figura 5. Diagramas de Caso de Uso.

Fuente: Santacruz, 2015.

Para el manejo de estos datos fue necesario el uso de la Norma ISO 19115 de la ISO/TC 211 Información Geográfica/Geomática (IPGH, 2010), permitiendo así, implantar el uso de metadatos organizados, estandarizados con una visión de creación de planillas de metadatos que contemplen las características importantes de las RVRNs. Fueron propuestos cuatro modelos de planillas de metadatos que corresponden al CDG levantados (Santacruz, 2015).

En la Tabla 1 se muestra el resultado del CDG Red Vertical de Referencia del Ecuador, el cual concentra las características, avances, estrategias y posibles soluciones que se podrían aplicar para actualizar esta red, los demás CDGs pueden ser visualizados en Santacruz (2015).

Tabla 1
Análisis y estrategias de solución de la RVRE

RED VERTICAL DE REFERENCIA DEL ECUADOR (RVRE)	
DATO	Estación Mareográfica, Punto de Nivelación
UBICACIÓN	Ecuador Continental
CARACTERÍSTICAS	<ul style="list-style-type: none"> • El origen de la Red de Control Básico Vertical del Ecuador se origina en la cota de marca de nivel "BM3". Este se encuentra cerca de la estación mareográfica "La Libertad", la cual representa el DV de país; • La Red de Control Básico Vertical de primer orden cuenta con 3.732 puntos de nivelación a lo largo de los principales ejes viales del país, los mismos inicialmente están distribuidos en 62 líneas, 20 anillos o circuitos y 38 nodos. Cada línea cuenta con placa inicial, placa final, desnivel, distancia, cota y años (de 1977-2009) en los que se realizó la nivelación. • No existe densificación de la Red en el Oriente Ecuatoriano debido al acceso restringido a esta zona (falta de vías, zonas sin exploración, otros); • Esta Red no se encuentra ajustada; • Existen puntos nivelados que no se encuentran en los anillos de nivelación.
AVANCES	<ul style="list-style-type: none"> • Digitación de los datos en formato físico de la Red de Control Básico Vertical; • Estudio de un Ajuste de la Red de Control Básico Vertical en función de números geopotenciales, considerando nuevos anillos de nivelación; • Avances en el proyecto del IGM de remediación de los anillos fundamentales de la red vertical nacional; • Continuidad de la nivelación y renivelación; • Identificación y digitación de todas las líneas de nivelación que conectan las estaciones SIRGAS2000: (SIRGAS95 - Latacunga y Zamora -, mareógrafos -Libertad- y estaciones fronterizas -Tulcán y Zamora); • Se realizó el cálculo de los números geopotenciales de los nodos de nivelación
ESTRATEGIAS	<ul style="list-style-type: none"> • Antes del ajuste de la Red, analizar los errores de las alturas en las líneas de nivelación, y datos de gravedad originales, considerando la distancia máxima entre puntos de nivelación y gravimetría, a más de las condiciones topográficas; • Ajuste de la red vertical en función de números geopotenciales; • Revisión del Ajuste de la Red de nivelación, considerando los errores máximos de cierre; • Reajuste de los circuitos de nivelación que generen gran distorsión en la red durante su ajuste (ver los errores de cierre de los circuitos); • Densificación de líneas de nivelación en fronteras y en regiones amazónicas; • Determinación de las diferencias de geopotencial; • Determinación de diferencias en conexiones de frontera. • Determinación de Números Geopotenciales para determinación de parámetros de conversión.
POSIBLE SOLUCIÓN	Obtener datos TIPO 6: (Nivelación + GPS (GNSS) geodésico L1/L2) + Gravimetría ya que con las redes de nivelación y gravimétrica debidamente ajustadas, se podrá desarrollar la solución con base en Ihde (2007-2011) para la conexión regional y para la unificación de un SVRG. en las áreas sin información usar MGS.

Fuente: Santacruz, 2015.

Conclusiones y recomendaciones

Se creó una propuesta de inventario de metadatos considerando normas y convenciones con el objetivo de generar posibles estrategias de solución basados en los términos de referencia de SIRGAS/GGOS/IAG. Estas estrategias podrían considerar los problemas que se presentan en la homogenización de datos nacionales, conexiones entre países e integración de las redes verticales Sudamericanas. Por otra parte, gracias a la propuesta de trabajar con metadatos, se afianzó la necesidad de crear una IDE para SIRGAS, anticipando la homogenización de los datos y su almacenamiento, considerando así los objetivos de UN-GGIM: Américas. Por tanto, se puede concluir que este estudio tiene una contribución en el campo de la Geodesia y del manejo de Datos Geoespaciales, la cual se torna relevante y podría ser considerada por los países miembros de SIRGAS. Además, la metodología puede ser aplicada a cualquier país.

Con este estudio también se detectó y confirmó aspectos críticos respecto a las definiciones de las RVRNs, generando estrategias nacionales y continentales. Se concluye la importancia en el cálculo de números geopotenciales en cada país, considerando ajuste de las redes verticales y gravimétricas (forma convencional) y aplicando el PVCG en su forma fija para la determinación del potencial perturbador a través del disturbio de la gravedad (forma moderna) en áreas donde no hay datos de nivelación. Se considera también la determinación de las diferencias del geopotencial para el enlace entre países, independientemente del origen de las redes.

Un estudio semejante puede ser realizado por los demás países de SIRGAS, el cual aportará con mayor comprensión referente a las heterogeneidades de sus datos, directamente relacionadas con sus RVRNs. De esta forma se considera la nueva visión de SIRGAS-GTIII para conseguir la integración de las RVRNs y el establecimiento de una única Red Vertical de Referencia SIRGAS (RVRs).

Agradecimientos

Al Gobierno de la República del Ecuador, por darme la oportunidad de obtener la beca de estudios mediante la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT).

Al Curso de *Pós-Graduação em Ciências Geodésicas* - CPGCG de la *Universidade Federal do Paraná* (UFPR) - Brasil, especialmente a mi orientador Profesor Doctor Sílvio de Freitas e a mi co-orientadora la Profesora Doctora Silvana Camboim.

Al Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) y a su Grupo de Trabajo III: *Datum Vertical*.

Bibliografía

- Angermann, D.; Gruber, T.; Gerstl, M.; Heinkelmann, R.; Hugentobler, U.; Sánchez, L., and Steigenberger, P., (2016). "GGOS Bureau of Products and Standards Inventory of Standards and Conventions used for the Generation of IAG Products". *Journal of Geodesy: The Geodesist's Handbook 2016*, 90 (10), pp. 1095-1156.
- Brovar, V., (1972). "A possible improvement in the accuracy of gravimetric results in Geodesy", *Sov. Astron*, 15, pp. 1055-1058.
- De Freitas, S.R.C.; Medina, A.S.; Lima, S.R.S., (2002). "Associated problems to link South American Vertical Networks and possible approaches to face them", in: Drewes, H.; Dodson, A.H.; Fortes, L.P.S.; Sánchez, L.; Sandoval, P. (ed.). *Vertical Reference Systems. International Association of Geodesy Symposium (IAGS)*, vol. 124, Springer, Verlag, Berlim, pp. 318-323.
- De Freitas, S.R.C., (2015). "SIRGAS-WGIII activities for unifying height systems in Latin America", *Revista Cartográfica*, no. 91, p. 75.
- Drewes, H.; Sánchez, L.; Blitzkow, D.; Freitas, S., (2002). "Scientific foundations of the SIRGAS vertical reference system", in: *Drewes et al. Eds. IAG Symposia 124*, Springer, pp. 297-301.
- Drewes, H.; Kuglitsch, F.; Ádám, J.; Rózsa, S., (2016). "The geodesist's handbook 2016", *Journal of Geodesy* 90.10, pp. 907-1205. DOI: 10.1007/s00190-016-0948-z.
- Gemael, C., (2002). "Introdução à Geodésia Física", *Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas*, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999, reimpressão em 2002.
- Heck, B., (2011). "A Brovar-type solution of the fixed geodetic boundary - value problem", *Studia Geophysica et Geodaetica*, vol. 55, n. 3, pp. 441-454.
- Hofmann-Wellenhof, B.; Moritz, H., (2005). "Physical Geodesy", *Springer Wien New York*.
- IAG (International Association of Geodesy). Acceso en: 2014. "The Structure of IAG (2011-2015)". Disponible en: http://www.iag-aig.org/index.php?tpl=text&id_c=12&id_t=516.
- Ihde, J., (2007). "IAG-ICP 1.2. Inter-Commission Project 1.2: Vertical Reference Frames", *Report of the International Association of Geodesy (2007-2011)*.
- Ihde, J.; Barzaghi, R.; Marti, U.; Sánchez, L.; Sideris, M.; Drewes, H.; Foerste, C.; Gruber, T.; Liebsch, G.; Pail, R., (2015). "Report of the ad hoc group on an International Height Reference System (IHRs)", in: *Drewes H, Hornik H. (eds.), Travaux de l'AIG 39, IAG Reports*, pp. 2011-2015.
- IPGH (Instituto Panamericano de Geografía e Historia), (2010) "Guía De Normas, Edición en español, Comité ISO/TC211 Información Geográfica/Geomática". Grupo Consultivo de Desarrollo, Ex Arzobispado 29, Colonia Observatorio, 11860 México, D.F.

- ISO/TC 211 (International Organization for Standardization. Geographic information/Geomatics). (2003). "About ISO/TC 211". Disponible en: <<http://www.isotc211.org>>, acceso en: 2014.
- Kutterer H.; Neilan R.; Bianco G., (2012). "Global Geodetic Observing System (GGOS)", in: *Drewes H., H. Hornik, J. Ádám, S. Rózsa (Eds. 2012). The geodesist's handbook 2012. Journal of Geodesy*, 86 (10), pp. 915-926. DOI: 10.1007/s00190-012-0584-1.
- Plag, H.-P.; Pearlman, M., (2009). "Introduction of GGOS". *Global Geodetic Observing System - GGOS 2020 Book*, Springer.
- Sánchez, L. (2009). "Strategy to Establish a Global Vertical Reference System". *Geodetic Reference Frames*, Springer.
- Sánchez L.; R. Luz, (2011). "Requerimientos para la unificación de los sistemas de alturas existentes en la Región SIRGAS", presentado en la *Reunión SIRGAS2011*, Heredia, Costa Rica, agosto 8-10, 2011.
- Sánchez, L.; Sideris, M.G., (2017). "Vertical datum unification for the International Height Reference System (IHRs)". *Geophysical Journal International*, 209 (2), pp. 570-586.
- Santacruz, A., (2015). "Integración de las Redes Verticales Sudamericanas: Inventario en vista de los términos de referencia de SIRGAS/GGOS". *Disertación de Maestría en Ciencias Geodésicas. Universidad Federal de Paraná*.
- Santacruz Jaramillo, A.; Freitas, S.R.C.; Camboim, S. "Integração das Redes Verticais Sul-Americanas: Inventário em vista dos termos de Referência do SIRGAS/IAG/GGOS", *Revista Brasileira de Cartografia (Online)*, 67, pp. 1279-1295.
- SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). Acceso en 2014. "Unificación de los sistemas de alturas existentes". Disponible en: <<http://www.sirgas.org/index.php?id=75>>.
- UN-GGIM: Américas, "Acerca de UN-GGIM: Américas". Disponible en <<http://www.cp-idea.org/index.php/un-ggim-americas/acerca-de-un-ggim-americas>>, acceso en: 2014.
- UN-GGIM, (2013). "Statutes of UN-GGIM: Americas". *Regional Committee of United Nations on Global Geospatial Information Management for the Americas*.

Seguimiento colaborativo del ruido ambiental utilizando dispositivos móviles y sistemas de información geográfica

Juan Humberto Juárez Hipólito*

Marco Antonio Moreno Ibarra**

Miguel Jesús Torres Ruiz***

Recibido el 4 de junio de 2017, aceptado el 20 de septiembre de 2017

Resumen

El ruido ambiental, es una de las principales formas de contaminación en las ciudades y que afecta la calidad de vida de las personas. En este artículo, se presenta una metodología que utiliza un enfoque basado en la Información Geográfica Voluntaria (VGI, por sus siglas en inglés) para el monitoreo, análisis y predicción del ruido ambiental, lo cual puede resultar muy útil para plantear alternativas que mejoren la vida en una ciudad. El presente trabajo considera las fases de adquisición de los datos, análisis y procesamiento de los datos, así como la visualización de la información, considerando la temporalidad de los mismos y tomando en cuenta niveles de análisis a nivel macro y micro para la superficie de estudio. Se presentan algunos detalles del diseño y desarrollo de un sistema de información geográfica, compuesto por una aplicación web de mapas, una aplicación para dispositivos móviles denominada “NoiseMonitor”, el análisis geoespacial y los métodos de aprendizaje automático (máquinas de soporte vectorial y redes neuronales artificiales) para la predicción de ruido ambiental; utilizando información contextual; es decir, algunos datos relacionados con la ciudad. Se busca aprovechar la disposición de los ciudadanos de participar colaborativamente para monitorear su entorno y ser considerados como sensores humanos, lo cual a diferencia con los enfoques tradicionales, el costo asociado al desarrollo e implementación de este proyecto es mucho menor.

* Centro de Investigación en Computación (UPALM), Instituto Politécnico Nacional (IPN), Zacatenco, Av. Miguel Othón de Mendizabal s/n, Col. La Escalera, 07320, Ciudad de México, México, correo electrónico: a140097@sagitario.cic.ipn.mx

** UPALM, IPN, correo electrónico: marcomoreno@cic.ipn.mx.

*** UPALM, IPN, correo electrónico: mtorres@cic.ipn.mx.

Asimismo, se presenta y discute un caso de estudio basado en la Ciudad de México, particularmente el cuarto cuadrante del Centro Histórico, el cual es muy representativo por la variedad de ruido ambiental que se genera en esa zona de la ciudad. Este enfoque tiene aplicación en áreas tales como big data desde una perspectiva colaborativa, Internet de las Cosas y ciudades inteligentes.

Palabras clave: *Mapas de Ruido Ambiental, VGI, Aprendizaje Automático, Máquinas de Soporte Vectorial, Redes Neuronales Artificiales.*

Resumo

O ruído ambiental é uma das principais formas de contaminação ambiental nas cidades afetando a qualidade de vida das pessoas. Neste artigo, apresenta-se uma metodologia que utiliza um enfoque baseado na Informação Geográfica Voluntária (VGI, sigla em inglês) para o monitoramento, análise e previsão do ruído ambiental, que poderá ser muito útil para estimar alternativas que melhorem a vida em uma cidade. Este trabalho considera as fases de aquisição, análise e processamento dos dados, assim como a visualização da informação, considerando sua temporalidade e tomando em conta análises a nível macro e micro para a superfície de estudo. Também se apresentam alguns detalhes do desenho e desenvolvimento de um sistema de informação geográfica, composto por uma aplicação web de mapas e uma aplicação para dispositivos móveis denominada “NoiseMonitor”. Também é apresentada a análise geoespacial e os métodos de aprendizagem automática (máquinas de suporte vetorial e redes neurais artificiais) para a previsão de ruído ambiental; utilizando informação contextual com alguns dados relacionados com a cidade. Com este tipo de trabalho se busca aproveitar a disposição dos cidadãos de participar colaborativamente para monitorar seu entorno e serem considerados como sensores humanos, sem os enfoques tradicionais, sendo o custo associado ao desenvolvimento e implementação deste projeto muito menor. Desta forma, se apresenta e discute um estudo de caso baseado na Cidade do México, particularmente o quarto quadrante do Centro Histórico da Cidade, muito representativa pela variedade de ruído ambiental que se faz nessa região. Nesta abordagem tem-se aplicação em áreas como big data desde uma perspectiva colaborativa, Internet das coisas e cidades inteligentes.

Palavras chave: *Mapas de Ruído Ambiental, VGI, Aprendizagem Automática, Máquinas de Suporte Vetorial, Redes Neurais Artificiais.*

Abstract

Environmental noise is a big problem related to the environmental pollution in cities, which affects the quality of people life. In this paper, a methodology that uses an approach based on Volunteered Geographic Information (VGI) for the monitoring, analysis and prediction of environmental noise is proposed. It can be very

useful to propose alternatives and initiatives that improve the life in a city. So, this work is composed of the following stages: data acquisition, analysis and, data processing, as well as the information visualization, considering the temporality of the same and taking into account macro and micro levels of analysis for the study surface. In addition, some details of the design and development of a geographic information system are presented, consisting of a web-mapping system, an application for mobile devices called “NoiseMonitor”, geospatial analysis and machine learning methods (support vector machines and artificial neural networks) for the prediction of environmental noise; by using contextual information; that is, some data related to the city. This kind of work seeks to take advantage of the willingness of citizens to participate collaboratively to sense their environment and be considered as human sensors, which unlike traditional approaches, the cost associated with the development and implementation of this project is much lower. Likewise, a case study based on the Mexico City is presented and discussed, particularly the fourth quadrant of the Historic Center of the City, which is very representative for the variety of environmental noise that is generated in that area.

The application domain of this approach is oriented towards big data from a collaborative perspective, Internet of Things and smart cities.

Key words: *Environmental Noise Maps, VGI, Machine Learning, Support Vector Machines, Artificial Neural Networks.*

Introducción

El ruido ambiental no es solamente una forma de contaminación ambiental, sino es un problema que afecta la calidad de vida de las personas, el cual genera estrés y que puede provocar la pérdida progresiva de la audición y otros problemas a la salud como hipertensión y problemas cardíacos (Antón y Anton, 2012). Se ha encontrado, que la exposición prolongada al tránsito vehicular está asociada con un pequeño aumento en el riesgo de mortandad por complicaciones cardiovasculares, especialmente en la población de avanzada edad (Halonen *et al.*, 2015). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el ruido es la segunda causa de problemas de salud, después de la mala calidad del aire. Los elevados niveles de ruido se dan principalmente en las zonas más densamente pobladas, tales como la Ciudad de México, una de las ciudades más pobladas del mundo, por lo que es importante responder a las preguntas sobre dónde, cuándo y por qué se generan los diferentes niveles de ruido.

Las tecnologías geoespaciales han dado a los ciudadanos la oportunidad de participar de forma activa e intencional en actividades que alguna vez estuvieron relegadas al mundo de geógrafos y cartógrafos expertos. Esto puede ser interpretado como el surgimiento de una nueva geografía pero sin geógrafos, lo cual se ha denominado como neogeografía; la cual representa un fenómeno social que describe

el uso de herramientas y técnicas geográficas por parte de la gente común, que voluntariamente producen su propia información, donde ésta tiene la cualidad de ser información con contenido geográfico (Connors *et al.*, 2012; Goodchild, 2009).

De este fenómeno derivan conceptos como la información geográfica voluntaria (VGI), que es aquella generada con un esfuerzo intencional y consiente por la comunidad de usuarios con poca o nula educación, experiencia o entrenamiento en geografía o cartografía; es decir, por los neogeógrafos (Goodchild, 2007). Esta información ayuda a ampliar la información de los expertos en el análisis de información geográfica, tales como la comunidad científica u organismos privados dedicados a la investigación, de tal forma que se pueda aprovechar tanto el conocimiento de expertos como de la comunidad no experta (Connors *et al.*, 2012; Elwood *et al.*, 2012; Goodchild, 2009). Algunas aplicaciones incluyen Wikimapia, OpenStreetMap, GeoNames, GeoCommons y TierraWiki (Elwood *et al.*, 2012; Goodchild, 2007; Sui, 2008), análisis de delincuencia y seguridad pública, actividades recreativas y de aventura (Parker *et al.*, 2013) y respuesta oportuna a desastres naturales (Connors *et al.*, 2012; Elwood *et al.*, 2012; Goodchild y Glennon, 2010; Middleton *et al.*, 2014).

La VGI intenta reducir la brecha que separa el trabajo conjunto del público, los investigadores y las autoridades responsables de tomar decisiones sobre políticas medioambientales de carácter público (Connors *et al.*, 2012), por lo que ha sido empleada en ciudades inteligentes para optimizar las operaciones y servicios relacionados con temas ambientales, sociales y económicos (Nakano *et al.*, 2015). Otras metodologías han sido desarrolladas para asegurar la calidad de la VGI (Fonte *et al.*, 2015). Diversos proyectos relativos al medio ambiente que se han realizado tomando en cuenta la participación de los ciudadanos, los cuales se relacionan con la restauración del hábitat, salud pública, planeación ambiental, monitoreo de la calidad del agua, salud y preservación de recursos forestales y animales, manejo de incendios forestales, mapeo y monitoreo de campos de cultivo, programas humanitarios, etc. De hecho, la VGI establece un nuevo paradigma para la investigación de fenómenos socio-espaciales, volviendo necesario el monitoreo continuo del comportamiento social cambiante y las interacciones en las sociedades urbanizadas que evolucionan rápidamente, haciendo de VGI un fenómeno de *big data* (grandes volúmenes de datos) que no puede concebirse aisladamente de otros conceptos de la ciencia de datos (Jiang y Thill, 2015). Este trabajo representa un enfoque para construir *big data* desde una perspectiva colaborativa.

Este artículo se organiza de la siguiente manera: en los “Antecedentes” se presentan algunos trabajos relacionados con el estado del arte, particularmente del monitoreo del ruido ambiental. Posteriormente se explica la metodología desarrollada para analizar y caracterizar el comportamiento del ruido ambiental. Luego se presenta un caso de estudio, así como los resultados y experimentos realizados,

utilizando dos enfoques de aprendizaje automático. Finalmente, se describen las conclusiones y trabajo a futuro.

Antecedentes

En esta sección se presentan algunos trabajos previos, relacionados con la generación de mapas de ruido ambiental y las aplicaciones para el monitoreo colaborativo del ruido ambiental.

Mapas de ruido ambiental en zonas urbanas

El primer mapa de ruido de la Zona Metropolitana del Valle de México fue desarrollado con la finalidad de ayudar a las autoridades a emitir políticas correctas contra los problemas de ruido que afectan a esta región, y con ellas poder mejorar la calidad de vida de sus habitantes; este proyecto realiza un análisis entre los niveles de ruido aceptables, tolerables, molestos e inaceptables (Rodríguez y Garay, 2012). En el 2014, se presentó un sistema para monitorear el ruido ambiental de Nueva York; el sistema analizaba datos históricos provenientes de las llamadas de quejas relativas al ruido, las redes de carreteras, datos de check-ins y puntos de interés provenientes de la red social Foursquare (Zheng *et al.*, 2014a; Zheng *et al.*, 2014b). Algunas de las principales distinciones de este proyecto, son su capacidad de inferir la composición del ruido, así como la tolerancia de las personas al ruido en diferentes horas. Una aplicación que establecía modelos de predicción de los niveles de ruido y que realizaba mapas de ruido con una exactitud del 80.9% fue presentada por Karolus (2013). Esta aplicación utilizaba técnicas de aprendizaje automático y mediciones voluntarias georeferenciadas tomadas de la aplicación NoiseMap. También se utilizó información voluntaria de OpenStreetMap y LinkedGeoData para obtener información acerca de calles, edificios y otras fuentes de ruido. Una de las principales aportaciones de este trabajo, fue la posibilidad de predecir niveles de ruido en zonas con pocas o nulas mediciones. Quintero (2013) presentó una propuesta para generar mapas acústicos basados en muestras tomadas en diferentes horarios por un sistema de micrófonos calibrados y un GPS. En 2011 fue creada una arquitectura escalable y paralela que empleaba el paradigma de programación MapReduce para el procesamiento paralelo de grandes colecciones de datos provenientes de diferentes flujos de datos, así como aprendizaje automático, particularmente métodos de kernel, para el reconocimiento de patrones. Con este proyecto, sus autores pudieron crear un mapa de ruido ambiental en tiempo real, con datos provenientes de una red fija de sensores y otra red de dispositivos móviles, así como crear modelos de predicción que permitían calcular los niveles de ruido provenientes de una simulación de flujo vehicular (Kaiser y Pozdnoukhov, 2013).

Aplicaciones colaborativas para el monitoreo de ruido ambiental

Laermometer es una aplicación que recolecta señales de audio de los dispositivos móviles y las envía a un servidor, permitiendo visualizar los mapas de ruido generados con las mediciones en una interfaz web. El objetivo de esta aplicación es ayudar al usuario a encontrar lugares tranquilos donde estar, o simplemente compartir los niveles de sonido en cierta área (Bilandzic *et al.*, 2008). NoiseSPY contiene un portal web en el que se despliegan mapas de ruido en tiempo real (Kanjó, 2010). NoiseTube permite a los usuarios capturar mediciones de ruido utilizando su dispositivo móvil, para crear con esas capturas mapas de ruido que son mostrados en un portal web (Maisonneuve *et al.*, 2009). Ear-Phone es un sistema que muestra en un portal web mapas de ruido generados por las mediciones capturadas con los dispositivos móviles de los usuarios y que fueron enviadas a un servidor central. Cuenta con un sistema de calibración de punto simple, el cual compara valores desconocidos del dispositivo con estándares de referencia de acuerdo con algoritmos determinados. Este sistema incluye métodos de reconstrucción para mediciones faltantes, con la finalidad de mejorar la predicción en los mapas de ruido generados (Rana *et al.*, 2010). NoiseMap recolecta mediciones de ruido, consta de una aplicación móvil y se apoya en otra plataforma web de monitoreo. Con la finalidad de motivar la participación voluntaria, este sistema premia a sus usuarios con rangos de acuerdo con su nivel de actividad (Schweizer *et al.*, 2011). NoiseWatch incluye mediciones de ruido tanto de fuentes científicas oficiales como de VGI, los usuarios voluntarios pueden ingresar desde una plataforma web o desde sus dispositivos móviles (Jirka *et al.*, 2012). También hay aplicaciones que usan técnicas de gamificación para motivar a la gente a participar voluntariamente, tales como Noise Battle, donde el objetivo del usuario es conquistar el mayor número de celdas posibles, lo cual se consigue tomando más y mejores mediciones de ruido en dichas áreas que otros jugadores y evitar perderlas, lo cual ocurre cuando otro usuario se vuelve quien conquiste el área de la misma manera (García *et al.*, 2013; Karolus, 2013).

Comparación con trabajos previos

En la Figura 1, muestra una comparación de los trabajos presentados para el monitoreo de ruido ambiental, en donde se pueden apreciar las diferencias de manera puntual con el trabajo propuesto y presentado en este artículo. En ésta, se destaca que el presente trabajo promueve la VGI, emplea técnicas de aprendizaje automático para predecir niveles de ruido considerando factores alrededor de las mediciones, se cuenta con una aplicación móvil que ha sido desarrollada utilizando los sensores del dispositivo móvil y se tiene además un Web-GIS para la visualización, análisis e interpretación de los datos de ruido ambiental.

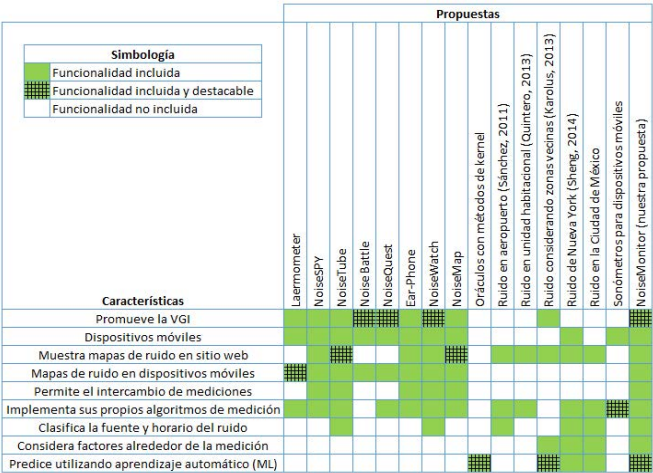


Figura 1. Comparación de varias aplicaciones existentes para monitoreo de ruido y sus funcionalidades.

Metodología propuesta

La metodología busca aprovechar la VGI generada por la participación de las personas quienes, a través de una aplicación móvil, capturan las mediciones de ruido en los lugares en que se encuentren. Después, usando técnicas de aprendizaje automático, tales como máquinas de soporte vectorial y redes neuronales, se predicen los niveles de ruido en puntos predefinidos y se generan mapas de ruido utilizando tanto las mediciones, como los valores predichos. Esta metodología está compuesta de las siguientes etapas (véase la Figura 2):

- Adquisición de datos
- Análisis y procesamiento de datos
- Visualización de la información

Se puede observar que en la etapa de adquisición de datos, los usuarios, actúan voluntariamente como sensores, capturan los niveles de ruido ambiental así como sus ubicaciones geográficas, utilizando sus dispositivos móviles y envían esas mediciones a un servidor central, donde son almacenadas en una base de datos en PostGIS. Posteriormente, en la etapa de análisis y procesamiento de datos, las mediciones y alguna información contextual (datos acerca de los intervalos de tiempo, negocios cercanos, colonias y otras mediciones) son utilizadas para entrenar y probar el modelo de aprendizaje automático; en este caso, una máquina de soporte vectorial (SVM), para describir el comportamiento del ruido y predecir sus niveles,

almacenando los resultados en la base de datos de PostGIS. Finalmente, en la etapa de visualización de la información, tanto las mediciones como las predicciones son interpoladas, utilizando un servicio web de procesamiento (WPS). Para esta tarea se implementó y aplicó el algoritmo Barnes con un código estándar de colores; esta capa es sobrepuesta a otras capas en formato servicio web de mapas (WMS), tales como OpenStreetMap (OSM), dando por resultado un mapa de ruido ambiental que se presenta al usuario junto con algunas estadísticas relevantes a través de su navegador web. El sistema cubre las tres etapas de la metodología, posee a una arquitectura cliente-servidor, donde la aplicación de dispositivos móviles y los mapas de ruido pertenecen al lado del cliente y el resto al lado del servidor.

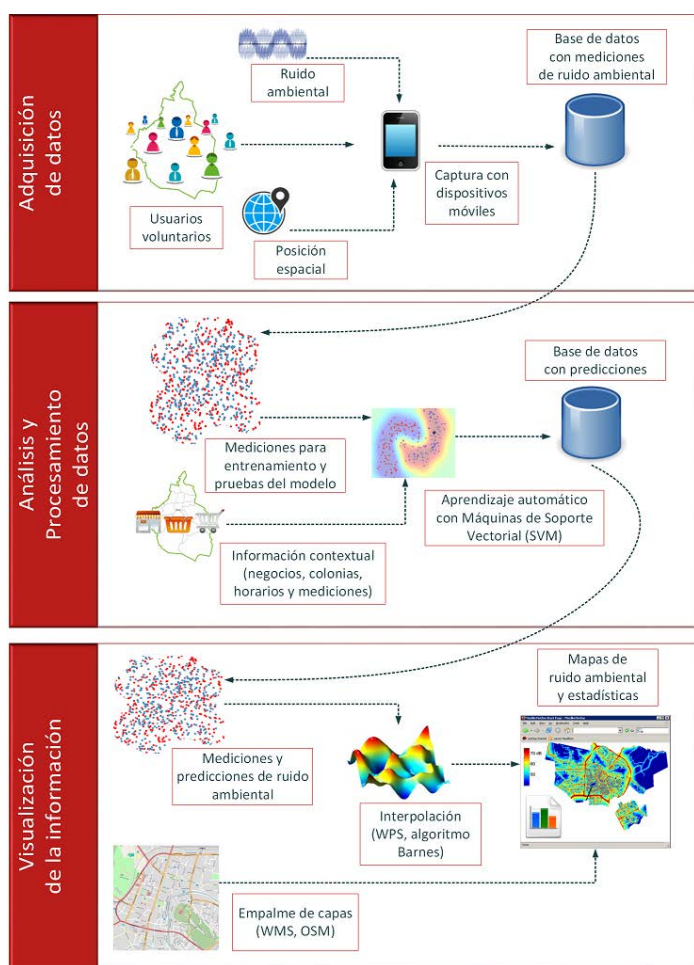


Figura 2. Etapas que componen la metodología propuesta.

Etapas de adquisición de datos

La adquisición de datos consiste en que los usuarios voluntarios, a través de sus dispositivos móviles, sean capaces de medir los niveles de ruido ambiental del lugar en el que se encuentren, para enviar esas mediciones a un servidor de base de datos, donde son almacenadas. Las actividades que se cubren en esta etapa son las siguientes: 1) Registro, 2) Recolección de niveles de ruido, 3) Almacenamiento temporal y 4) Almacenamiento en servidor.

En el Registro, cada usuario se inscribe en el servidor principal utilizando la aplicación instalada en su dispositivo móvil, proporcionando un nombre de usuario y una breve descripción sobre su dispositivo. Un mismo usuario puede registrarse para diferentes dispositivos móviles, y el registro es un proceso que sólo es necesario realizar en una única ocasión en cada dispositivo. El sensor del micrófono del dispositivo móvil del usuario se utiliza para monitorear el ruido ambiental y determinar la medición del sonido en esa ubicación geográfica. Cada medición es georreferenciada, utilizando el radio GPS o el radio Wi-Fi del dispositivo. La medición georreferenciada se almacena temporalmente dentro de una base de datos local. Entre los datos que se guardan se tienen la fecha y hora en que se realizó cada medición, así como el valor de ruido mínimo y máximo registrado. Una vez que el usuario accede a Internet, las mediciones almacenadas en el dispositivo son enviadas al servidor principal, donde se almacenan en una base de datos PostGIS. Cuando el servidor principal le responde al dispositivo del usuario que ha recibido y almacenado sus mediciones, éstas son eliminadas del almacenamiento local de su dispositivo.

Etapas de análisis y procesamiento de datos

En la etapa de análisis y procesamiento de datos, se predicen un conjunto de niveles de ruido en diversos puntos geográficos, entre los cuales existen algunos en los que es probable que no existan mediciones aportadas por los usuarios voluntarios, utilizando información contextual de esos puntos geográficos. Asimismo, en esta etapa se cubren varias actividades; primero, la creación de un modelo de aprendizaje automático; en este caso, una máquina de soporte vectorial. Posteriormente, el entrenamiento y evaluación del modelo, que incluye la separación aleatoria de mediciones en un conjunto de entrenamiento y otro de pruebas. Finalmente, la predicción del ruido ambiental en el área de interés, para lo cual es necesaria la creación de un conjunto de predicción compuesta por la unión de una *lattice* de puntos geográficos y los centroides geométricos de las colonias, además de la predicción del ruido en puntos del conjunto de predicción.

La predicción se basa en las mediciones georreferenciadas. Se utiliza la información contextual de los puntos donde se realizó cada medición, así como técnicas de aprendizaje automático para regresión; en este caso, máquinas de soporte vectorial y particularmente regresión de soporte vectorial (SVR). Estos métodos son aplicados

sobre las mediciones para predecir los valores de los niveles de ruido en puntos geográficos determinados dentro del área de interés.

Predicción a nivel de vecindad geográfica

Algunos factores alrededor de una medición de ruido se han considerado como relevantes para el modelo de predicción; es decir, factores en la vecindad geográfica de cada medición. Por lo tanto, se toma en cuenta lo siguiente:

- *Densidad de negocios.* Suponemos que es posible que una mayor concentración de negocios alrededor de un punto geográfico con mayor cantidad de personas en ellos, equivalga a mayor movimiento de personas, y por ende a mayores niveles de ruido.
- *Mediciones de ruido previas.* Suponemos que es posible que las mediciones de ruido tomadas previamente en la misma área geográfica en intervalos de tiempo similares, sean en cierta medida similares a la medición actual.
- *Tipo de colonias.* Suponemos que es posible que tanto el número, como el tipo de colonias alrededor de un área geográfica, determinen parcialmente el nivel de ruido existente en dicha región.
- *Horario de la medición.* Suponemos que es posible que el día y la hora en que se efectuó la medición determina de cierta forma el nivel de ruido registrado en el área geográfica de dicha medición.

La Figura 3 muestra un esquema que ejemplifica los factores antes mencionados. Los radios concéntricos representan el área de influencia de los factores respectivos alrededor del punto en donde se desea predecir el nivel de ruido; es decir, la vecindad geográfica de la medición.

Entonces, dado que la intensidad del ruido decae con la distancia, todos estos factores de carácter numérico son calculados considerando la distancia desde el punto geográfico de la medición hasta el punto geográfico que representa cada factor.

En el algoritmo presentado en la Figura 4, se muestra la forma en que son calculados los diversos factores alrededor de cada punto geográfico. Como se ha mencionado, se ha considerado la densidad de algunas características geográficas alrededor de cada medición, tales como la densidad de negocios, el tipo de colonias alrededor, y otras mediciones previamente capturadas. Una vez conocidas estas densidades, la influencia de cada factor se calcula numéricamente, considerando la distancia geográfica de la medición respectiva. Todos estos valores numéricos serán utilizados después por el algoritmo de aprendizaje automático para predecir valores de ruido en cualquier otro punto geográfico.

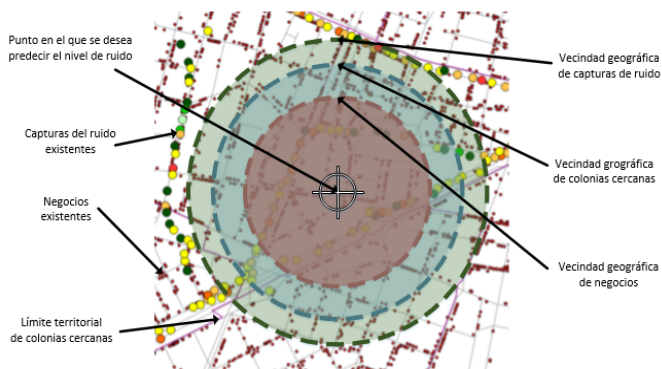


Figura 3. Factores considerados en las vecindades de las mediciones como influyentes para predecir el nivel de ruido.

```

Entrada:
• El conjunto universo  $c.universo$ , obtenido en el algoritmo de la Figura 4.5.
• Un conjunto finito de radios de las vecindades geográficas:  $\{radio.negocios, radio.colonias, radio.mediciones\}$ .

Salida:
• El conjunto universo  $c.universo$  con el cálculo de la afectación producida por diversos factores.

Datos:
• Un conjunto finito de negocios registrados en el DENUe del INEGI:  $c.denu = \{d_1, d_2, \dots, d_{n_1}\}$ .

1 para cada punto  $punto \in c.universo$  hacer                                /* inicializar */
2    $vecindad.negocios \leftarrow$  vecindad geográfica circular con centro en  $punto$  y radio  $radio.negocios$ 
3    $vecindad.colonias \leftarrow$  vecindad geográfica circular con centro en  $punto$  y radio  $radio.colonias$ 
4    $vecindad.mediciones \leftarrow$  vecindad geográfica circular con centro en  $punto$  y radio  $radio.mediciones$ 
5    $factor_1 \leftarrow 0$ 
6    $factor_2 \leftarrow 0$ 
7    $factor_3 \leftarrow 0$ 
8    $factor_4 \leftarrow 0$                                           /* calcular el factor de negocios cercanos */
9    $n \leftarrow 0$ 
10  para cada negocio  $negocio \in c.denu$  hacer
11    si  $negocio \in vecindad.negocios$  entonces
12       $punto.negocio \leftarrow$  punto con las coordenadas de  $negocio$ 
13       $personas \leftarrow$  promedio de personas registradas en  $negocio$ 
14       $distancia \leftarrow$  distancia euclidiana entre  $punto$  y  $punto.negocio$ 
15       $factor_1 \leftarrow factor_1 + personas / (distancia * distancia)$ 
16       $n \leftarrow n + 1$ 
17    fin
18  fin
19   $factor_1 \leftarrow factor_1 / n$                                           /* calcular el factor de colonias aledañas */
20   $n \leftarrow 0$ 
21  para cada colonia  $colonia \in vecindad.colonias$  hacer
22     $punto.colonia \leftarrow$  punto con las coordenadas del centroide de  $colonia$ 
23     $tipo \leftarrow$  tipo de colonia registrado para  $colonia$ 
24     $distancia \leftarrow$  distancia euclidiana entre  $punto$  y  $punto.colonia$ 
25     $factor_2 \leftarrow factor_2 + tipo / (distancia * distancia)$ 
26     $n \leftarrow n + 1$ 
27  fin
28   $factor_2 \leftarrow factor_2 / n$                                           /* calcular el factor de mediciones de ruido cercanas */
29   $n \leftarrow 0$ 
30  para cada medición  $medición \in vecindad.mediciones$  hacer
31     $punto.medición \leftarrow$  punto con las coordenadas de  $medición$ 
32     $ruido \leftarrow$  promedio de ruido registrado en  $medición$ 
33     $distancia \leftarrow$  distancia euclidiana entre  $punto$  y  $punto.medición$ 
34     $factor_3 \leftarrow factor_3 + ruido / (distancia * distancia)$ 
35     $n \leftarrow n + 1$ 
36  fin
37   $factor_3 \leftarrow factor_3 / n$ 
38   $factor_4 \leftarrow n$                                           /* actualizar los factores en los puntos del conjunto universo */
39   $punto.factor_1 \leftarrow factor_1$ 
40   $punto.factor_2 \leftarrow factor_2$ 
41   $punto.factor_3 \leftarrow factor_3$ 
42   $punto.factor_4 \leftarrow factor_4$ 
43 fin
44 devo  $c.universo$                                           /* retornar el conjunto universo actualizado */

```

Figura 4. Algoritmo para la actualización de los factores de predicción en el conjunto universo.

Intervalos de tiempo

De acuerdo con diversas observaciones, se ha determinado que el cuerpo humano no llega a adaptarse a niveles altos constantes de ruido y que no todas las personas son igualmente sensibles al mismo y sus efectos; y que la sensibilidad cambia de acuerdo con factores como la hora, siendo más molesto el ruido durante la noche que durante el día (Ising y Kruppa, 2004; Liu et al., 2014). Tomando en consideración lo anterior, es conveniente analizar el ruido usando ciertos intervalos de tiempo (análisis espacio-temporal).

Los intervalos de tiempo sobre los que se realizan los análisis, han sido prefijados tomando en cuenta las actividades cotidianas, que en general, la mayor parte de la población realiza en la Ciudad de México. Cada intervalo de tiempo sirve para obtener un mapa de ruido distinto. En la presente propuesta se consideran intervalos de tiempo acordes entre los días laborables (lunes a viernes) y no laborables (sábado y domingo), obteniendo los siguientes periodos de tiempo.

- Horario H-00: por la madrugada, de 00:00 a 06:00 horas
- Horario H-06: por la mañana, de 06:00 a 12:00 horas
- Horario H-12: por la tarde, de 12:00 a 18:00 horas
- Horario H-18: por la noche, de 18:00 a 24:00 horas

Aprendizaje automático para la predicción de ruido ambiental

Para desarrollar un modelo de aprendizaje, es necesario crear, entrenar, evaluar y utilizar el modelo de aprendizaje. Para la construcción del modelo, es necesario obtener dos conjuntos de puntos de muestreo (datos de ruido): el conjunto de entrenamiento (C_A) y el conjunto de predicción (C_P). La unión de ambos conjuntos forma el conjunto universo (C_U), tal como se muestra en la Figura 5.

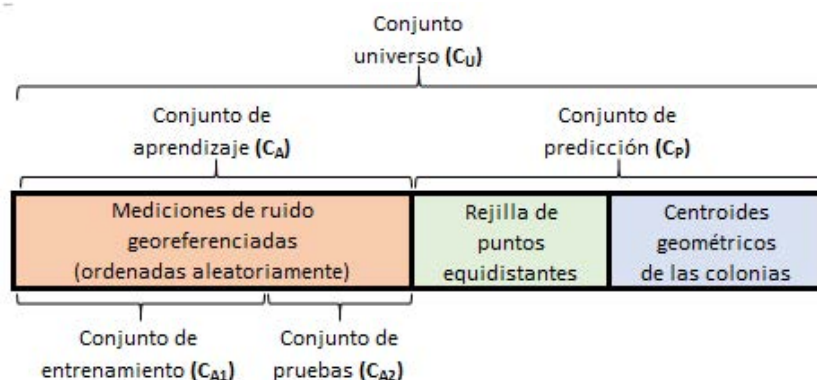


Figura 5. Conjuntos de puntos geográficos utilizados para la modelo de aprendizaje.

Los puntos de las mediciones georreferenciadas corresponden a los lugares en donde los usuarios hayan realizado mediciones de ruido, utilizando sus dispositivos móviles, éstos constituyen el conjunto CA. El conjunto CP se compone de los centroides de las colonias (ya que interesa predecir el nivel de ruido en cada colonia, independientemente de si existen en ella o no mediciones de ruido), así como una lattice de puntos dentro del área de interés; para cubrir la predicción también en las áreas donde no existan colonias o existan pocas de ellas. La distancia que separa a los puntos de la lattice es arbitraria y puede ser configurada (aumentada o disminuida) según se prefiera.

El conjunto CA se divide aleatoriamente en dos subconjuntos: el conjunto de entrenamiento (CA1) y el conjunto de pruebas (CA2). A su vez, se utiliza k-fold cross validation con $k=10$. Es posible definir la proporción de CA1 como el 90% de CA, y CA2 como el 10% restante. Con CA es posible entrenar y evaluar al modelo de aprendizaje automático; en este caso, una máquina de soporte vectorial.

Etapas de visualización de la información

La última etapa de la metodología corresponde a la visualización de la información. En esta etapa se integran, con ayuda de un servidor de datos geoespaciales, como GeoServer, las mediciones y los valores predichos, con los datos de un servicio de mapas, como es el caso de OpenStreetMap. Posteriormente, empleando el código de colores estándar para los niveles de ruido, así como el algoritmo Barnes de interpolación sobre los valores de los puntos del CU, se generan y visualizan los mapas de ruido resultantes, los cuales describen el comportamiento del ruido en el área mostrada, así como datos estadísticos relevantes. El método de interpolación empleado (Barnes) es un algoritmo de interpolación geoespacial que opera sobre una rejilla regular de celdas que cubren un área específica en la que existen mediciones en puntos distribuidos irregularmente (Weymouth *et al.*, 1999; Xia *et al.*, 1999).

Esta etapa incluye la elaboración de mapas de ruido que pueden visualizarse tanto en equipos de escritorio como en equipos móviles, así como la presentación de reportes y estadísticas, tanto del ruido por colonias de municipios (o delegaciones) de interés, así como del ruido por colonias para los diferentes horarios. La unidad básica de medida del ruido ambiental, recomendado por algunos estándares internacionales, tales como la norma ISO 1996-1:2003, es el dB(A). Su código de colores está definido en la norma ISO 1996-2:2007 y está representado junto con su código hexadecimal (RGB) en la Figura 6.

Debido a que la mayoría de los sonidos existentes son de naturaleza fluctuante (y en algunos casos efímera), se emplean medidas como Leq,T y SEL, que permiten describir sonidos fluctuantes; es decir, trasladar la medida fluctuante del sonido a un valor constante. La norma ISO 1996-1:2003 también recomienda utilizar a Leq,T y a SEL como descriptores básicos de los niveles de ruido. Con respecto a las categorías

en que se agrupan las mediciones de ruido según su intensidad, se ha empleado la clasificación establecida en la norma ISO 1996-2, que considera el rango de sonidos menores a 35 decibeles, entre 35 y 80 decibeles en intervalos de 5 decibeles, y mayores a 80 decibeles.

dB (A)	color (HEX)
> 80	#000066
75 - 80	#0000FF
70 - 75	#AC9AD5
65 - 70	#990033
60 - 65	#FF3333
55 - 60	#FF6600
50 - 55	#FFC649
45 - 50	#FFFF00
40 - 45	#005000
35 - 40	#00CC00
< 35	#C0FFC0

Figura 6. Código de colores estandarizado para representar el nivel de ruido en dB(A).

Experimentos y resultados

Caso de estudio

Para verificar la efectividad de la metodología, se ha elegido como caso de estudio el monitoreo de ruido ambiental en la Delegación Cuauhtémoc de la Ciudad de México, que puede visualizarse como un área a nivel macro, y en la que es posible enfocarse, a nivel micro, en el ruido ambiental de las calles alrededor del Centro Histórico de la Ciudad de México, en la colonia Centro.

Área de estudio a nivel macro

El horario H-12 fue el elegido para monitorear el ruido en la Delegación Cuauhtémoc. Las razones para elegir esta área y este horario como caso de estudio son las siguientes:

- *Ubicación:* esta área incluye la capital de la Ciudad de México.
- *Actividad:* Es un área de las más activas en términos de movilidad poblacional.
- *Negocios:* contiene una gran concentración de negocios, por lo que se espera que las mediciones resulten más útiles para el modelo de aprendizaje.

- *Seguridad*: este lugar contiene en general, varias de las colonias en las que hay mayor vigilancia y mejor infraestructura, por lo que representa menor riesgo durante los horarios del recorrido para realizar mediciones.

Área de estudio a nivel micro

Los horarios H-06 y H-12 fueron los elegidos para monitorear el ruido en el Centro Histórico de la Ciudad de México. Las razones para elegir esta área y sus alrededores en estos horarios como caso de estudio, son las siguientes:

- *Ruido*: se determinó que esta es una de las regiones que presentan la mayor concentración de ruido por su amplia actividad mercantil y tránsito de personas.
- *Actividad*: es una de las áreas más activas considerando la afluencia y flujo de personas.
- *Seguridad*: al ser uno de los principales destinos turísticos de esta ciudad, este lugar cuenta con vigilancia constante, por lo que también representa menor riesgo durante los recorridos para realizar las mediciones.

Implementación del sistema de información geográfica

El modelo funcional del sistema de información geográfica (GIS) se muestra en la Figura 7. Este sistema consiste en una aplicación para dispositivos móviles, que permite a los usuarios voluntarios efectuar con el sensor del micrófono, mediciones georeferenciadas de los niveles de ruido en los lugares en que se encuentre; las mediciones son enviadas a un servidor, éste las recibe utilizando una interfaz de servicios de sincronización y las almacena en una base de datos PostGIS; estos módulos cubren la fase de adquisición de datos de la metodología. Las mediciones son usadas por un servicio de análisis para predecir los valores de ruido; este módulo cubre la etapa de análisis y procesamiento de los datos de la metodología. Finalmente, un servidor de datos geoespaciales, genera los mapas de ruido y los presenta a través de una interfaz web; este módulo cubre la etapa de visualización de la información, conforme al diagrama presentado en la metodología.

Aplicación para dispositivos móviles

Se desarrolló una aplicación, llamada NoiseMonitor, para monitorear los niveles de ruido utilizando los dispositivos móviles, con el fin de cubrir las necesidades de la etapa de adquisición de datos. Esta aplicación está basada en Android, y es compatible con la versión 2.3.3 (API nivel 10) o superior; algunas pantallas de la aplicación se muestran en la Figura 8. En esta figura se puede apreciar una pantalla principal, desde la que el usuario puede navegar entre tres secciones diferentes: la pantalla para capturar los niveles de ruido, la pantalla para ver el mapa de ruido, y la pantalla para realizar ajustes en la configuración del usuario y del dispositivo.

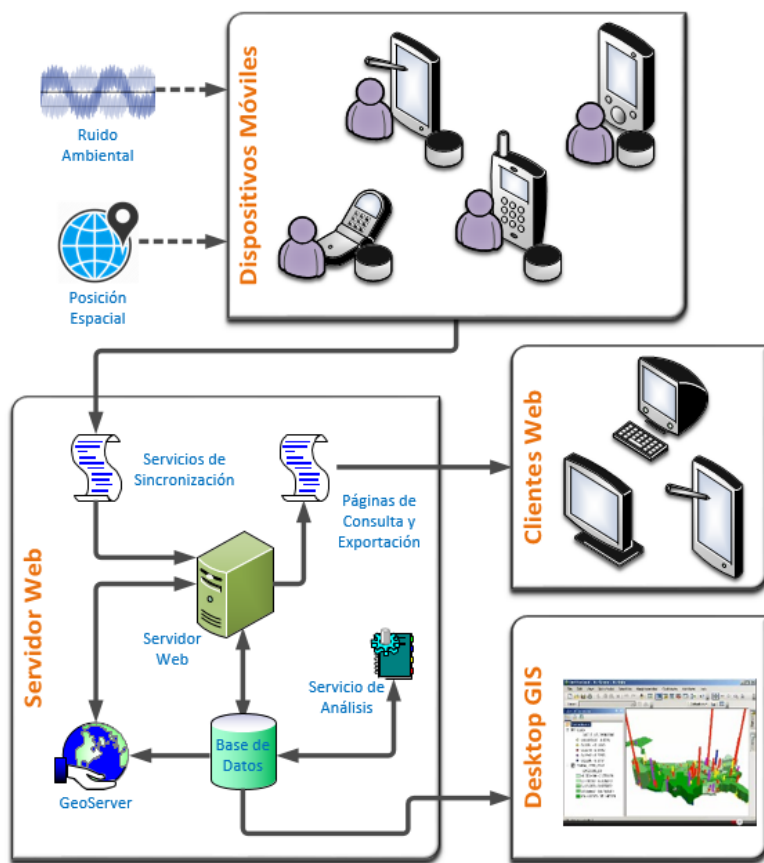


Figura 7. Modelo funcional y arquitectura del sistema.

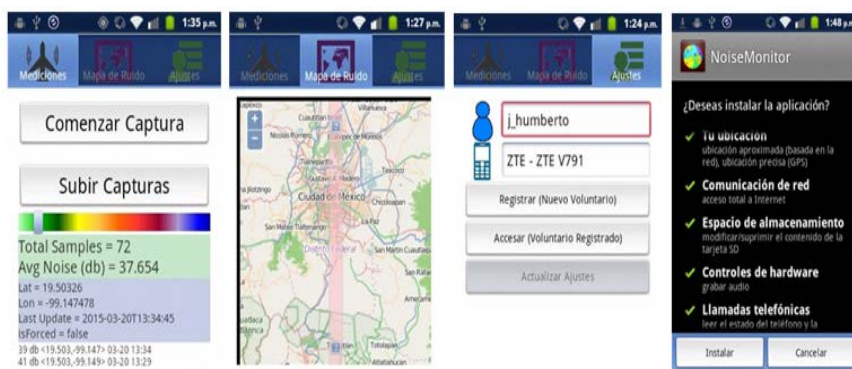


Figura 8. Aplicación móvil NoiseMonitor desarrollada para el monitoreo de ruido ambiental.

Aplicaciones para análisis y procesamiento de datos

De acuerdo con la etapa 2 de la metodología, se utilizó el lenguaje R para realizar el modelo de aprendizaje automático, específicamente se implementó una Máquina de Soporte Vectorial (SVM). Un programa diseñado para funcionar como un servicio que pueda ejecutarse periódicamente fue escrito en Python; éste primero actualiza los factores de predicción en el conjunto universo, después recupera los datos necesarios desde la base de datos, luego invoca al programa escrito en lenguaje R que se encarga de predecir los valores de nivel de ruido en los puntos de interés del conjunto de predicción, el cual está compuesto por los centroides de cada colonia de los municipios (o delegaciones) de interés, más una lattice de puntos que cubren toda el área de interés. Después de obtener las predicciones, el programa escrito en Python actualiza en la base de datos los valores de las predicciones correspondientes.

Aplicaciones para la visualización de la información

La aplicación Web-GIS para la etapa de visualización de la información, que se muestra en la Figura 9, fue dividida en cuatro secciones o pestañas: la primera muestra el mapa de ruido, la segunda permite al usuario realizar búsquedas de lugares geográficos, la tercera muestra algunas estadísticas sobre los niveles de ruido en distintas regiones, y la cuarta permite descargar recursos asociados con la aplicación. Esta aplicación fue desarrollada utilizando PHP, HTML5, CSS, JSON, JavaScript y AJAX. Para mostrar el mapa se empleó el framework de JavaScript OpenLayers, el cual lee datos en formato WMS desde el servidor GeoServer, y éste a su vez, de la base de datos PostgreSQL con la extensión PostGIS.

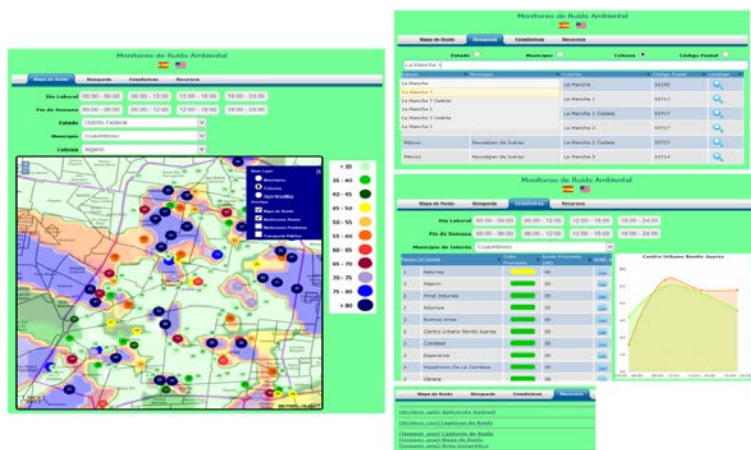


Figura 9. Aplicación Web-GIS desarrollada mostrando mapa de ruido (sintético) de la Delegación Cuauhtémoc.

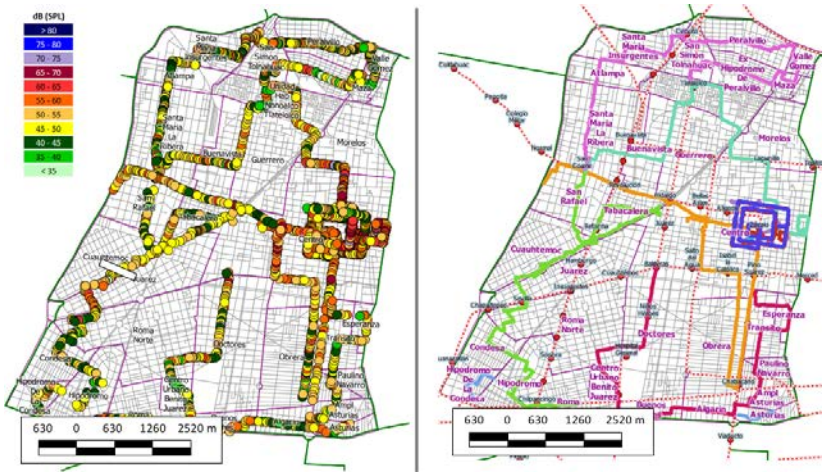


Figura 10. Capturas de ruido ambiental en la Delegación Cuauhtémoc.

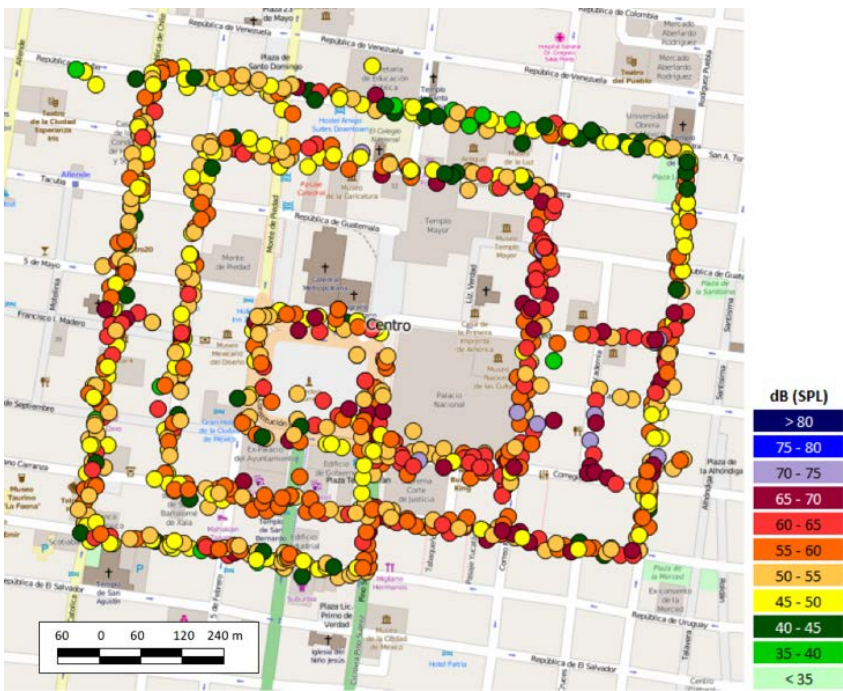


Figura 11. Capturas de ruido ambiental en el Centro Histórico.

Muestreo de ruido en el área de interés

El primer grupo de mediciones se realizó entre el 6 y el 10 de julio de 2015, para hacer el monitoreo se definieron rutas que buscaban recorrer al menos una parte de cada colonia de la Delegación Cuauhtémoc. La Figura 10 muestra las rutas (derecha) y las mediciones registradas (izquierda). El segundo grupo de mediciones se realizó en las inmediaciones del Centro Histórico (véase Figura 11).

Así, en total se monitorearon y coleccionaron con el dispositivo móvil, 2 355 mediciones georeferenciadas de ruido ambiental en el área de interés, habiéndose recorrido poco más de 83 km. Algunas estadísticas sobre la distribución de las mediciones de ruido ambiental capturadas se muestran en la Figura 12, en forma de un boxplot (izquierda), una tabla de estadísticas (centro) y un histograma (derecha). En el boxplot se aprecia en escala original (unidades de dB(SPL)) y normalizada (en un rango entre 0 y 1). Por tanto, utilizando como unidades dB(SPL), aunque las mediciones registradas se encuentran en un rango entre 32 y 76, el 50% de ellas caen en el rango entre 48 y 57, siendo la media de 52.45. El histograma permite confirmar visualmente las observaciones anteriores, así como presentar un comportamiento similar a una distribución normal o gaussiana en los datos.

Predicción de ruido ambiental utilizando aprendizaje automático

Para encontrar los valores adecuados a emplear en el modelo de aprendizaje automático (*machine learning*) desarrollado en el lenguaje R, se implementó en este lenguaje un programa para evaluar el rendimiento de las máquinas de soporte vectorial bajo diversos parámetros, así como compararlo con otras técnicas de aprendizaje automático, específicamente, contra las redes neuronales artificiales (ANN). Por simplicidad, de aquí en adelante se utilizarán abreviaturas tales como

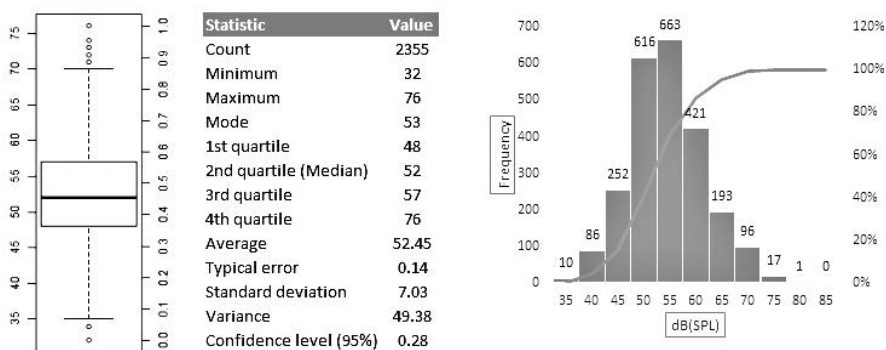


Figura 12. Mediciones de ruido capturadas: boxplot (izquierda), estadísticas (centro) e histograma (derecha).

ML para referirse a aprendizaje automático, SVM para máquinas de soporte vectorial, ANN para redes neurales artificiales, MAE para error absoluto promedio, CORR para correlación, SSE para suma de errores cuadráticos, entre otras.

Por tanto, del conjunto de las 2 355 mediciones de ruido, se tomaron aleatoriamente 1 871 (aprox. 80%) como conjunto de entrenamiento, y las 484 restantes (aprox. 20%) para el conjunto de pruebas. Estos conjuntos se mantuvieron constantes para evaluar a las SVM y a las ANN. Al finalizar el entrenamiento de cada modelo de ML, utilizando el conjunto de entrenamiento (y bajo cada combinación de los distintos parámetros) y después de predecir con el modelo entrenado y el conjunto de pruebas los niveles de ruido, fue posible comparar los niveles de ruido reales (previamente conocidos) contra los nuevos niveles de ruido (recién predichos por el modelo). Con las diferencias entre ambos valores se calculó el MAE y la CORR. Con estos resultados se determinó la exactitud de cada modelo, métrica necesaria para compararlos entre ellos, considerando como más exacto al modelo con menor MAE y mayor CORR. Para los radios de las vecindades geográficas se evaluaron diversas longitudes, y se utilizó al final un radio de 200 m para el de los negocios del DENU, 1 000 m para el de las colonias aledañas, y 1 000 m para el de las mediciones de ruido cercanas.

Desempeño de las redes neuronales artificiales

Para evaluar las ANN se utilizó la función *neuralnet* de la librería *neuralnet* del lenguaje R. Con ello, se consideraron diferentes cantidades de nodos en las capas ocultas, y utilizando internamente el algoritmo por defecto, *rprop+*. Así, se construyó una ANN con 0 nodos ocultos (ANN 0), otras ANN con una capa oculta de 1, 2, 3, 4, 5 y 10 nodos, así como una ANN con dos capas ocultas de 5 nodos en cada una (ANN 5-5), otra ANN con dos capas ocultas de 10 nodos en cada una (ANN 10-10), y finalmente una ANN con tres capas ocultas de 5 nodos en cada una (ANN 5-5-5).

Utilizando una escala logarítmica, en la Figura 13 se muestra el desempeño de estas distintas configuraciones de ANN. En ellas se aprecia el aumento de CORR, respecto a otras ANN del mismo número de capas ocultas a medida que aumenta el número de nodos entre ellas. El MAE y el SSE se comportan de manera similar, ya que el SSE sólo amplifica el efecto del MAE. El tiempo para entrenar el modelo (en segundos) depende directamente de la cantidad de pasos efectuados por el algoritmo, y en general crece exponencialmente a medida que se aumentan los nodos en las capas ocultas. Los mejores resultados en cuanto a exactitud en la predicción se obtuvieron con una ANN 10-10, si bien su tiempo de entrenamiento es de aproximadamente 3.3 minutos, es considerablemente alto, en comparación por ejemplo, con una ANN 3 que tardó aproximadamente 1.2 minutos en entrenarse y presentó un desempeño promedio. En cuanto a tiempo de entrenamiento, los peores resulta-

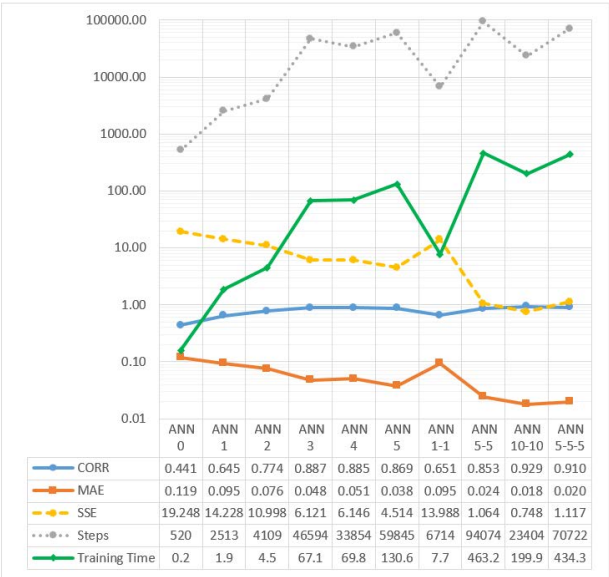


Figura 13. Desempeño de diferentes configuraciones de ANN (precisión, tiempo de entrenamiento, entre otros).

dos se obtuvieron con una ANN 5-5, con aproximadamente 7.7 minutos, si bien ésta fue una de las mejores ANN respecto a la exactitud en la predicción.

Desempeño de las máquinas de soporte vectorial

Para evaluar el desempeño de las SVM se utilizó la función ksvm de la librería kernlab del lenguaje R, considerando diferentes funciones kernel y parámetros. Los kernels evaluados fueron el de base radial o Gaussiano (rbfdot), el Laplaciano (laplacedot), el Bessel (besseldot), el Anova RBF (anovadot), el polinomial (polydot), el lineal (vanilladot) y el de tangente hiperbólica (tanhdot). Por cada kernel empleado, se evaluó el parámetro C (para el costo de violación de las restricciones), en un rango de 0.1 a 3.1 con intervalos de 0.5. Por cada kernel y cada valor de C, también se evaluó el parámetro ξ (utilizado en la función de regresión de insensibilidad a la pérdida), en un rango de 0.1 a 2.6 con intervalos de 0.5. Bajo estas configuraciones, se obtuvieron 294 resultados. El parámetro k (para realizar k-fold cross validation con el conjunto de entrenamiento mejorando la calidad del modelo) se mantuvo constante con el valor de 10, por ser el comúnmente utilizado.

Una comparación de desempeño de los diferentes kernels, considerando el MAE mínimo, la CORR máxima, y el tiempo de entrenamiento mínimo alcanzados (en segundos), se muestra en la Figura 14. Respecto al MAE y a la CORR, con el kernel rbfdot se obtuvieron los mejores resultados, seguido del kernel laplacedot,

mientras que el peor desempeño correspondió a los kernels polydot (de segundo grado), al kernel tanhdot y al kernel vanilladot. Con respecto al tiempo de entrenamiento mínimo, el mejor desempeño correspondió también al kernel rbfdot, con casi 6 segundos, seguido de los kernels vanilladot y laplacedot, con 8 segundos aproximadamente, finalmente el kernel polydot obtuvo el peor desempeño, con casi 3.8 minutos, incluso cuando estaba configurado con grado 2, mientras que grados mayores (no reportados aquí) para este mismo kernel rebasaban por mucho este tiempo.

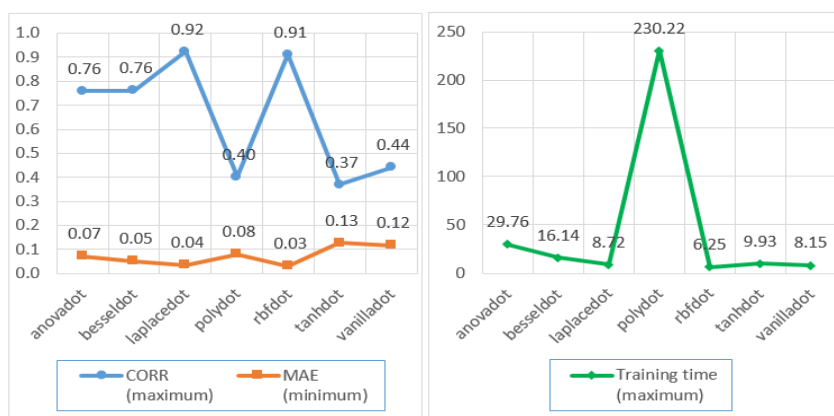


Figura 14. Desempeño de diferentes SVM: precisión (izquierda) y tiempo de entrenamiento (derecha).

Mapas de ruido ambiental de las áreas de interés

Como resultado, se desarrolló un mapa de ruido utilizando QGIS, basado en las mediciones obtenidas en la Delegación Cuauhtémoc, el cual se muestra en la Figura 15 (izquierda). El mapa se obtuvo utilizando el método de interpolación IDW con el parámetro $C=2$, y el código de colores definido en la norma ISO 1996-2:1987. De manera inmediata puede apreciarse que los niveles más altos de ruido registrados durante los recorridos se ubican en la zona comprendida por las inmediaciones del Centro Histórico. Con el mismo método de interpolación y el mismo código de colores, se obtuvieron otros mapas de ruido, usando las mediciones obtenidas en el Centro Histórico para los diferentes intervalos de tiempo, mismos que se muestran en la Figura 15 (derecha).

Con respecto a la Delegación Cuauhtémoc, la mayor concentración de ruido durante estos recorridos fue encontrada en la colonia Centro (casi en su totalidad) y la Colonia Morelos (en las inmediaciones del mercado de la Merced), tal como se

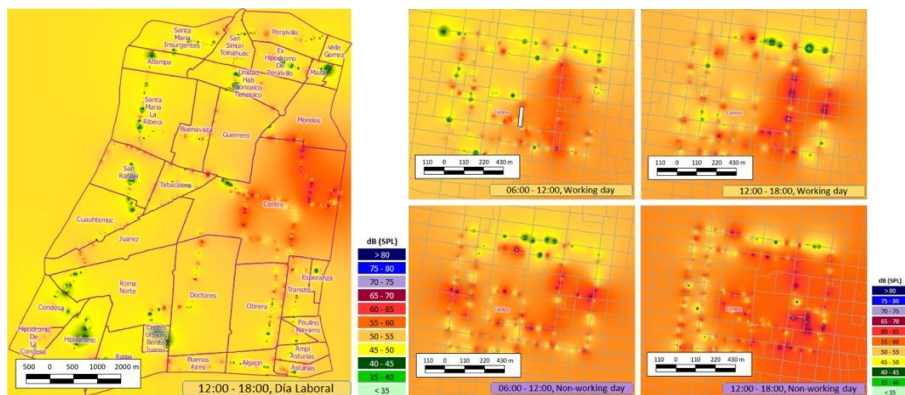


Figura 15. Mapa de ruido ambiental para las colonias de la Delegación Cuauhtémoc (izquierda) y para las calles alrededor del Centro Histórico (derecha).

aprecia en la Figura 15 (izquierda). Más aún, para la Colonia Centro particularmente, la Figura 15 (derecha) muestra que la mayor concentración de ruido se encontró en las calles aledañas al Palacio Nacional (calles con alta densidad de vendedores ambulantes, tales como Corregidora, Correo Mayor, La Academia, Soledad y Venustiano Carranza), y también muestra que, en general, los mayores niveles de ruido registrados se encontraron en el horario H-12 para días no laborables, mientras que los niveles más bajos se encontraron en el horario H-06 para días laborales.

En general se determinó que los niveles más altos de ruido promedio eran provocados por el ruido constante de la gente (por ejemplo, los gritos de los vendedores ambulantes o inclusive la charla continua de las multitudes), seguidos por el ruido provocado por los automóviles. Las zonas industriales, como la colonia Atlampla, al contrario de lo que se esperaría, resultaron estar entre las más silenciosas y tranquilas, probablemente debido a que las industrias aíslan el ruido en su interior y en sus calles no transitan demasiados autos ni personas. Las zonas con los niveles de ruido más bajos fueron los interiores de grandes parques y en general, de zonas rodeadas de árboles, como la colonia Hipódromo y Tlatelolco. Algunos de los ruidos más intensos detectados con la aplicación, fueron sonidos impulsivos, tales como estornudos, el grito de un vendedor de gas, la sirena de una patrulla o el ladrido de los perros.

Después de predecir los niveles de ruido en diversos puntos utilizando aprendizaje automático y luego de aplicar el método de interpolación con el algoritmo *Barnes* usando *GeoServer*, fue posible obtener el mapa de ruido, con mediciones reales y valores predichos, para la Delegación Cuauhtémoc. La Figura 16 muestra una comparación entre el mapa de ruido obtenido por interpolación con Quantum GIS (izquierda) sobre el que se encuentran los puntos predichos por el modelo de ML, contra el mapa

de ruido obtenido por interpolación con *GeoServer* (derecha) para el horario H-12 en días laborables. También es posible comparar los mapas de ruido ambiental previamente mostrados contra las observaciones de ruido obtenidas mediante el proyecto *NoiseWatch*, aunque estas últimas presentan una escala categórica subjetiva diferente, que incluyen categorías de nivel de ruido muy malo, malo, moderado, bueno y muy bueno. Las mediciones de *NoiseWatch* muestran buena correlación con las de los mapas de ruido ya mostrados.

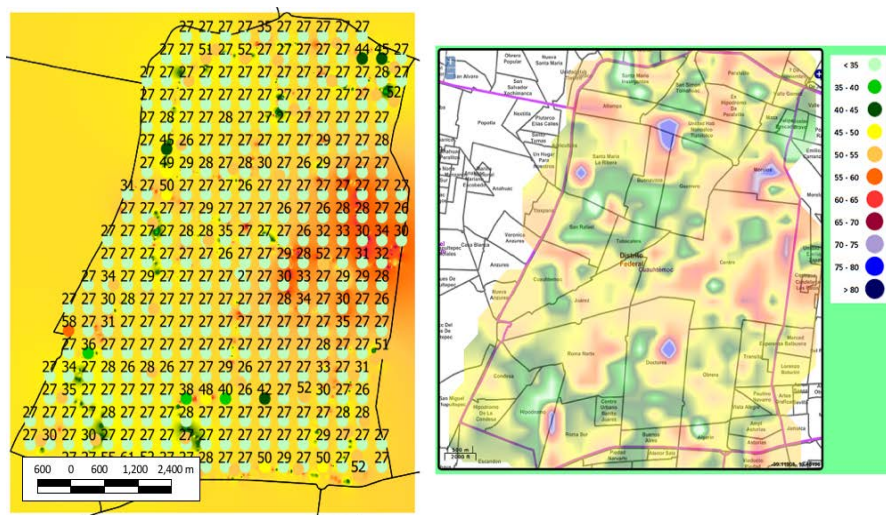


Figura 16. Mapa de ruido generado con mediciones reales sobre el que se sobreponen valores predichos (izquierda) comparado contra el mapa de ruido generado con valores reales y predichos (derecha).

Consideraciones acerca de los resultados obtenidos

Las mediciones de ruido se realizaron con un dispositivo móvil ZTE-V791. Las posiciones geográficas se obtuvieron principalmente utilizando el GPS del dispositivo, sólo una muy pequeña cantidad de ellas se obtuvo mediante posicionamiento por Wi-Fi. Dado que las mediciones corresponden a nivel de presión sonora, para obtenerlas el usuario debía permanecer inmóvil durante los 10 segundos que duraba cada captura. Se evitaba estar en movimiento durante la medición para evitar que el aire golpeando al micrófono provocara una mayor presión y en consecuencia una lectura más elevada del nivel de ruido que la realmente existente.

Además, se procuró ser imparcial al tomar las mediciones, intentando capturar el ruido a intervalos regulares (por ejemplo, cada que se hubiera recorrido caminando

media cuadra) independientemente del nivel de ruido que se percibía subjetivamente en ese lugar y buscando que las condiciones climáticas fueran favorables.

Conclusiones y trabajo a futuro

En el enfoque expuesto en este artículo, los ciudadanos juegan un rol importante al convertirse de simples usuarios a productores de información, representando una gran ventaja sobre enfoques tradicionales, especialmente en términos de velocidad, bajo costo y volumen de datos que pueden ser obtenidos. El principal beneficio de la creación de este tipo de herramientas y mecanismos, es que nos permiten ayudar a informar y concientizar a la población y a las autoridades acerca de los altos niveles de ruido a los que la sociedad se encuentra expuesta, en un esfuerzo para detectar y erradicar, o al menos disminuir, las consecuencias de este tipo de problemas. El trabajo aquí presentado ofrece una de esas posibilidades y tiene algunos beneficios, tales como el uso de la VGI. Asimismo, este trabajo representa un enfoque para construir big data desde una perspectiva colaborativa y soportar aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), así como de ciudades inteligentes (smart cities).

En este trabajo encontramos que, aprovechando la VGI, a partir de un conjunto de mediciones de ruido ambiental georeferenciadas, obtenidas voluntariamente por las personas con sus propios dispositivos móviles, se pudieron crear mapas de ruido ambiental a partir del análisis de dichas mediciones, el análisis geoespacial y la predicción con métodos de ML. El estudio de trabajos relacionados con el monitoreo de ruido ambiental nos permitió definir una metodología así como efectuar el diseño y desarrollo del software para cubrir cada fase de la misma, al tiempo que el análisis de un caso de estudio nos permitió experimentar con los datos y las aplicaciones desarrolladas. Los experimentos de comparación de las predicciones obtenidas con SVM contra las obtenidas con ANN mostraron que, a pesar de que ANN obtuvo mayor correlación y menor error absoluto promedio, su tiempo de entrenamiento fue mucho mayor que el de las SVM. Preferimos utilizar las SVM debido a que su correlación y error absoluto promedio son aceptables, y a que su tiempo de entrenamiento es mucho menor que el de las ANN, lo que permite efectuar predicciones más rápidas.

Como trabajos futuros se buscará probar esta metodología con otros modelos, así como con otros dispositivos móviles que cuenten con métodos de calibración del sensor del micrófono. Asimismo, es necesario incorporar un módulo de calibración que permita realizar ajustes sobre los sensores. De igual manera, sería deseable enfocar el trabajo a una red de sensores sonoros que permitan monitorear mayor cantidad de datos para refinar el modelo de predicción. Por otra parte, podría ser de utilidad incluir un método de ponderación multicriterio para asignar pesos a las variables involucradas, como es el caso de CRITIC (Diakoulaki *et al.*, 2015). Sin embargo, hay que considerar que en un enfoque de aprendizaje de máquina la asig-

nación de pesos es manejada por medio de los kernels para desambiguar los valores predichos.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo que este trabajo recibió del Instituto Politécnico Nacional (IPN), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP) con los proyectos SIP 20171192 y 20171918.

Bibliografía

- Antón, D. y Antón, A., (2012). *Ecología y Medio Ambiente*, ST Editorial, México, pp. 99-115.
- Bilandzic, M.; Banholzer, M.; Peev, D.; Georgiev, V.; Balagtas-Fernandez, F. y De Luca, A., (2008). "Laermometer: a mobile noise mapping application", *Proceedings of the 5th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Building Bridges*, ACM, New York, United States of America, pp. 415-418.
- Connors, J.P.; Lei, S. y Kelly, M., (2012). "Citizen science in the age of neogeography: Utilizing volunteered geographic information for environmental monitoring", *Annals of the Association of American Geographers*, 102 (6), Taylor & Francis, United Kingdom, pp. 1267-1289.
- Diakoulaki, D.; Mavrotas, G. y Papayannakis, L., (1995). "Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method", *Computers & Operations Research*, 22(7), Elsevier, United Kingdom, pp. 763-770.
- Elwood, S.; Goodchild, M.F. and Sui, D.Z., (2012). "Researching Volunteered Geographic Information: Spatial Data, Geographic Research, and New Social Practice", *Annals of the Association of American Geographers*, 102 (3), Taylor & Francis, United Kingdom, pp. 571-590.
- Fonte, C.; Bastin, L.; Foody, G.; Kellenberger, T.; Kerle, N.; Mooney, P.; Olteanu-Raimond, A.M. y See, L., (2015). "VGI Quality Control", *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1, Elsevier, United States of America, pp. 317-324.
- García-Martí, I.; Rodríguez-Pupo, L.; Díaz, L. y Huerta, J. (2013). "Noise Battle: A Gamified application for Environmental Noise Monitoring in Urban Areas", *Proceedings of the 16th AGILE Conference on Geographic Information Science*, Leuven, Belgium, pp. 14-17.
- Goodchild, M.F., (2007). "Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography", *Geo Journal*, 69(4), Springer, Netherlands, pp. 211-221.
- , (2009). "Geographic Information Systems and Science: Today and Tomorrow", *Annals of GIS*, 15(1), Taylor & Francis, United Kingdom, pp. 3-9.

- Goodchild, M.F. y Glennon, J.A., (2010). "Crowdsourcing Geographic Information for Disaster Response: A Research Frontier, *International Journal of Digital Earth*, 3 (3), Taylor & Francis, United Kingdom, pp. 231-241.
- Halonen, J.I.; Hansell, A.L.; Gulliver, J.; Morley, D.; Blangiardo, M.; Fecht, D.; Toledano, M.; Beever, B.; Sean, D.; Anderson, H.; Hugh, R. y Ross, K.F., (2015). "Road traffic noise is associated with increased cardiovascular morbidity and mortality and all-cause mortality in London", *European Heart Journal*, 36(39), Eur Soc Cardiology, United Kingdom, pp. 2653-2661.
- Ising, H. y Kruppa, B., (2004). "Health effects caused by noise: evidence in the literature from the past 25 years", *Noise and Health*, 6 (22), Medknow Publications, India, p. 5.
- Jiang, B. y Thill, J.C., (2015). "Volunteered Geographic Information: Towards the establishment of a new paradigm", *Computers, Environment and Urban Systems*, 53, Elsevier, United Kingdom, pp. 1-3.
- Jirka, S.; Bröring, A.; Kjeld, P.; Maidens, J. y Wytzisk, A., (2012). "A lightweight approach for the sensor observation service to share environmental data across Europe", *Transactions in GIS*, 16 (3), Wiley Online Library, United Kingdom, pp. 293-312.
- Kaiser, C. y Pozdnoukhov, A., (2013). "Enabling Real-Time City Sensing with Kernel Stream Oracles and MapReduce", *Pervasive and Mobile Computing*, 9 (5), Elsevier, Netherlands, pp. 708-721.
- Kanjo, E., (2010). "Noisespy: A real-time mobile phone platform for urban noise monitoring and mapping", *Mobile Networks and Applications*, 15 (4), Springer, Netherlands, pp. 562-574.
- Karolus, J., (2013). "Creating Noise Pollution Maps Based on User-Generated Noise Measurements: Erstellung Von Lärmkarten Basierend Auf Nutzergenerierten Lautstärkemessungen", *Ph.D. Thesis*, Telecooperation Group, TU Darmstadt.
- Liu, T.; Zheng, Y.; Liu, L.; Liu, Y. y Zhu, Y., (2014). "Methods for Sensing Urban Noises", *Technical Report*, MSR-TR-2014-66, Shanghai, China.
- Maisonneuve, N.; Stevens, M.; Niessen, M.E. y Steels, L., (2009). "NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones", *Information Technologies in Environmental Engineering, Proceedings of the 4th International ICSC Symposium*, Springer, Thessaloniki, Greece, pp. 215-228.
- Middleton, S.; Middleton, L. y Modafferi, S. (2014). "Real-Time Crisis Mapping of Natural Disasters Using Social Media", *IEEE Intelligent Systems*, 29 (2), IEEE, United States, pp. 9-17.
- Nakano, N., Tratz-Ryan, B. y Freeman, D. (2015). "Predicts 2016: IoT Technologies Optimize Smart City Operations", *Gartner Report*, United States, pp. 1-10.

- Parker, C.J.; May, A. and Mitchell, V. (2013). "The role of VGI and PGI in supporting outdoor activities", *Applied Ergonomics*, Elsevier, United Kingdom, 44 (6), pp. 886-894.
- Quintero, G., (2013). "Sistema móvil georeferenciado para la medición y análisis de ruido ambiental", Ph.D. Thesis, Centro de Investigación en Computación, IPN, México.
- Rana, R.K.; Chou, C.T.; Kanhere, S.S.; Bulusu, N. y Hu, W., (2010). "Ear-Phone: An End-to-End Participatory Urban Noise Mapping System", *Proceedings of the 9th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, ACM, Stockholm, Sweden, pp. 105-116.
- Rodríguez Manzo, F.E. y Garay Vargas, E., (2012). "El mapa de ruido de la Ciudad de México", *Reporte Técnico*, Universidad Autónoma Metropolitana, pp. 45-68.
- Schweizer, I.; Bärthel, R.; Schulz, A.; Probst, F. y Mühläuser, M. (2011). "NoiseMap-Real-Time Participatory Noise Maps", *Proceedings of the 2nd International Workshop on Sensing Applications on Mobile Phones*, ACM, United States, pp. 1-5.
- Weymouth, G.; Mills, G.; Jones, D.; Ebert, E. y Manton, M., (1999). "A continental-scale daily rainfall analysis system", *Australian Meteorological Magazine*, 48 (3), Sydney, Australia, pp. 169-179.
- Xia, Y.; Winterhalter, M. y Fabian, P., (1999). "A model to interpolate monthly mean climatological data at Bavarian forest climate stations", *Theoretical and applied climatology*, 64 (1-2), Springer, Germany, pp. 27-38.
- Zheng, Y.; Capra, L.; Wolfson, O. y Yang, H. (2014a). "Urban Computing: concepts, methodologies, and applications", *ACM Transaction on Intelligent Systems and Technology*, 5 (3), ACM, United States, pp. 1-55.
- Zheng, Y.; Liu, T.; Wang, Y.; Zhu, Y. y Chang, E. (2014b). "Diagnosing New York City's Noises with Ubiquitous Data", en *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, ACM, Seattle, United States, pp. 715-725.

Monitoreo urbano de entidades y eventos geográficos basado en censado social

Juan Carlos Salazar Carrillo*

Miguel Jesús Torres Ruiz**

Marco Antonio Moreno Ibarra***

Recibido el 16 de enero de 2017; aceptado el 13 de junio de 2017

Resumen

La proliferación de las redes sociales y la facilidad que otorgan a sus usuarios para compartir información alienta a compartir lo que ocurre a su alrededor. Las redes sociales ayudan a conocer diferentes acontecimientos, y al estar conscientes de ellos, nos ayuda a tomar decisiones con mayor certeza. Por ejemplo, acerca del tránsito vehicular, el utilizar las redes sociales nos ayuda a saber cuándo están presentes manifestaciones o cuando ha ocurrido un accidente, esta información nos ayuda a eludir un congestionamiento vial desafortunado. Aprovechando la generación de contenido en Twitter y tomando como caso de estudio la Ciudad de México, se recolectó información de usuarios dedicados a publicar eventos viales. Por tanto, se propone una metodología para la *geocodificación* de textos cortos y un método de aprendizaje automático basado en Máquinas de Soporte Vectorial, con el cual se obtiene un modelo capaz de realizar un análisis espacio temporal de eventos viales. Como caso de estudio se consideró a la Ciudad de México.

Palabras clave: *geocodificación, redes sociales, tránsito vehicular, máquinas de soporte vectorial, big data.*

* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Liga Periférico-Insurgentes Sur núm. 4903, Col. Parques del Pedregal, 14010 Ciudad de México, México, correo electrónico: jsalazar@conabio.gob.mx.

** Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Av. Juan de Dios Bátiz esq. Miguel Othón de Mendizábal s/n, Nueva Industrial Vallejo, 07738 Ciudad de México, México, correo electrónico: mtorres@cic.ipn.mx.

*** Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional (IPN), correo electrónico: marcomoreno@cic.ipn.mx.

Resumo

A proliferação das redes sociais e sua facilidade de utilização encorajam os usuários a compartilhar o que ocorre ao seu redor. Elas ajudam a conhecer diferentes fatos e, ao estar cientes deles, as decisões são tomadas com maior certeza. Como exemplo, pode-se citar trânsito de veículos, onde ao se utilizar as redes sociais pode-se saber onde estão ocorrendo manifestações ou acidentes. Esta informação ajuda a evitar entrar num congestionamento indesejado. Aproveitando a geração de conteúdo no Twitter e tomando como caso de estudo a Cidade do México, se coletou informação de usuários dedicados a publicar postagens sobre vias. Para isso, se propõe uma metodologia para a geocodificação de textos curtos e um método de aprendizagem automático baseado em Máquinas de Suporte Vetorial, com a qual se obtém um modelo capaz de realizar uma análise espaço temporal de eventos nas vias.

Palavras chave: *geocodificação, redes sociais, trânsito veicular, máquinas de Suporte Vetorial, Big Data.*

Abstract

Current social networks provide information with high correlation with events that are occurring worldwide. Twitter is a microblogging network of real time messages in which people post about various classes of events. A relevant topic is traffic congestion; user-generated content is useful to assist drivers in avoiding crowded areas. This work proposes a model to predict traffic-related events, based on a set of machine learning methods, in which a spatio-temporal dataset is obtained from Twitter messages. The training stage uses geocoded traffic events, in order to generate possible sites with traffic congestion at a given time. As a case study, partial areas of the Mexico City were taking into consideration.

Key words: *Geocoding, Social networks, traffic jams, Support Vector Machines, Big Data.*

Introducción

Más de la mitad de la población del mundo vive en áreas urbanizadas, es inevitable que poblaciones de gran magnitud lleguen a ser lugares muy complicados y desordenados (Chourabi, H. *et al.*, 2012). Ciudades y megalópolis generan nuevos tipos de problemas, tales como la administración de la basura, la carestía de recursos, la contaminación, problemas de salud en la población, el desplazamiento de sus habitantes, los congestionamientos de tráfico, y el deterioro de las infraestructuras, son los problemas básicos. Para resolver algunos de los aspectos ligados a estos problemas, la detección de accidentes y congestionamientos viales de forma automática puede ser útil. Los problemas de movilidad urbana, pueden ser reducidos si los accidentes y condiciones viales son conocidos por todos, saber en qué áreas se encuentran el tránsito pesado, los accidentes viales, los semáforos descompuestos, y los cortes de circu-

lación. Sin embargo, utilizando dispositivos GPS es muy complicado recolectar información relacionada con eventos viales. En este contexto, redes sociales como Twitter son muy útiles, ya que se puede aprovechar la gran cantidad de eventos que ahí se reportan (Lee *et al.*, 2013). Información relacionada a eventos viales también es muy común en Twitter, cuando las personas están moviéndose alrededor de la ciudad, van publicando información acerca de las condiciones viales utilizando sus dispositivos móviles, de hecho, existen varios usuarios que se dedican exclusivamente a publicar información acerca de este tema. Algunos de estos usuarios son agencias del gobierno, usuarios oficiales de transporte público, estaciones de radio y televisión, además de ciudadanos. Es importante señalar, que la información en Twitter raramente tiene las coordenadas, esto se debe a que los usuarios por cuestiones de seguridad o uso personal, desactivan la “ubicación” en sus dispositivos móviles, lo que origina que el sensor GPS no recupere las coordenadas específicas de cada dispositivo. Por tanto, se requiere geocodificar en la mayoría de los casos los tweets, con el objeto de identificar las ubicaciones donde ocurren los eventos, lo cual es un reto importante. Los métodos de aprendizaje automático como Máquinas con Soporte Vectorial (SVM) han sido de gran utilidad en diferentes áreas, ejemplos como reconocimiento de rostros, minería de datos, análisis de la bolsa de valores, predicciones de tiempo y otras más (Guo *et al.*, 2000), (Huang *et al.*, 2005) y (Akay, 2009).

En este artículo, se propone un enfoque para geocodificar eventos viales publicados en Twitter, incluyendo características espacio-temporales como la hora del día. A partir de esta información se crea un conjunto de prueba para utilizar un método de aprendizaje automático llamado SVM para Regresión. Un modelo de predicción es generado con el fin de mostrar posibles congestionamientos viales en horas específicas del día. Resultados preliminares muestran un precisión y un recall del 74% y 70% respectivamente. Los resultados están relacionados a la cantidad de eventos recolectados para generar el conjunto de entrenamiento. En la segunda parte se describe el estado del arte; luego, la metodología, a continuación la creación del conjunto de prueba, y del modelo de predicción, después la evaluación del método y finalmente las conclusiones y trabajo futuro.

Estado del arte

El observatorio de tráfico (Ribeiro Jr *et al.*, 2012) propone la geocodificación de textos cortos en Twitter usando el *gazetteer* GEODICT. Este contiene una colección de segmentos de avenidas y calles, cruces entre ellas, abreviaturas, seudónimos, vecindarios y puntos de referencia. Estos elementos tienen una representación geográfica relacionada. El observatorio de tráfico usa funciones de comparación de cadenas exactas o aproximadas para geolocalizar las calles mencionadas en los tweets. Delboni *et al.* (2007) proponen un método de recolección de información en la web utilizando técnicas de procesamiento de lenguaje natural, de este modo, puede reconocer y posicionar expresiones formadas por puntos de referencia y las

relaciones que existen entre estas. Davis Jr *et al.* (2011) proponen una metodología basada en las relaciones entre usuarios en Twitter para inferir la localización de los tweets. Una red es creada tomando en cuenta las relaciones *siguiendo y seguidores*.

Trabajando con datos de Facebook, Backstrom *et al.* (2010) muestra la fuerza de conexión entre relaciones en Facebook y la localización geográfica de los usuarios. Estos interactúan frecuentemente, viven cerca uno de otro, y cada usuario tiene al menos 10 amigos con puntos geográficos compartidos. Con estas suposiciones, esta metodología infiere la probable localización de cada usuario. En el contexto geográfico, las Máquinas de Soporte Vectorial (SVM) han sido utilizadas; siendo una de las principales técnicas de aprendizaje automático. Wang *et al.* (2013), propuso utilizar un modelo de inferencia basado en SVM, junto con un algoritmo de agrupamiento para inferir la localización de nuevas imágenes. En Wu *et al.* (2004) se muestran las predicciones de tiempo de traslado de un punto a otro. Fueron considerados diferentes factores que afectan el movimiento vehicular dentro de una ciudad, por ejemplo, velocidad del vehículo, clima, nivel de tránsito, accidentes, hora del día y día de la semana. La información se recolectó durante cinco semanas en tres rutas distintas y diferentes horas del día. Por tanto, se demostró que las SVM realizan predicciones acertadas, superiores a las predicciones basadas en históricos o métodos de predicción basados en información en tiempo real o bajo un enfoque estadístico.

Geocodificación de eventos viales en Twitter

La metodología propuesta involucra procesos automáticos y semi-automáticos con el propósito de ubicar objetos geográficos especificados en tweets; como: calles o sitios. Para esto se utilizó un Gazetteer y un corpus de Tweets. El Gazetteer inicial fue obtenido de GeoNames y el conjunto de datos utilizado está compuesto por 36,236 calles de la Ciudad de México. En algunos casos, podría ser útil una fotografía para llevar el proceso de georreferenciación, siempre y cuando se tuvieran las coordenadas de esta fotografía; entonces se pudiera pensar en agregar estos datos como parámetros de procesamiento al proceso de geocodificación. La Tabla 1 muestra las principales cuentas utilizadas para generar el Corpus.

Tabla 1
Cuentas principales de Twitter para conformar el Corpus

<i>Cuenta Twitter</i>	<i>Fecha de creación</i>	<i>Seguidores</i>	<i>Número de tweets</i>	<i>Sitio</i>
SSPDFVIAL	07.14.2010	369,115	154.65	Si
PolloVial	01.31.2013	667	71.91	No
Trafico889	05.14.2009	137,099	90.54	Si
Alertux	10.16.2012	179,574	35.59	Si
072AvialCDMX	10.20.2010	83,535	134.71	Si
RedVial	03.09.2010	63,702	44.81	Si

El proceso de geocodificación consta de las siguientes fases: 1) información del Corpus, 2) diccionarios y ejes equivalentes, 3) división del Gazetteer, 4) estandarización, 5) identificación y localización de eventos viales. Las fases se describen a continuación.

Extracción de información del conjunto de datos

Los tweets se encuentran almacenados en un repositorio denominado conjunto de datos o *corpus* e incluyen las calles, los seudónimos frecuentes, las abreviaturas comunes, lugares populares y monumentos históricos. Con el fin de recolectar esta información se desarrolló un script para obtener los n-gramas¹ más comunes. De cada tweet, fueron obtenidos los n-gramas y se ordenaron frecuencia. Aunque los n-gramas incluyen la combinación de cualquier segmento de palabra, los considerados para este trabajo, son segmentos de frases continuos. La Figura 1 muestra el funcionamiento del script. De la lista de unigramas, bigramas y trigramas se identificaron de forma semi-automática 456 calles principales, 150 tipos de eventos viales, 135 hashtags, 69 seudónimos, 65 edificios, lugares y monumentos, 34 abreviaturas y 26 combinaciones de preposiciones.

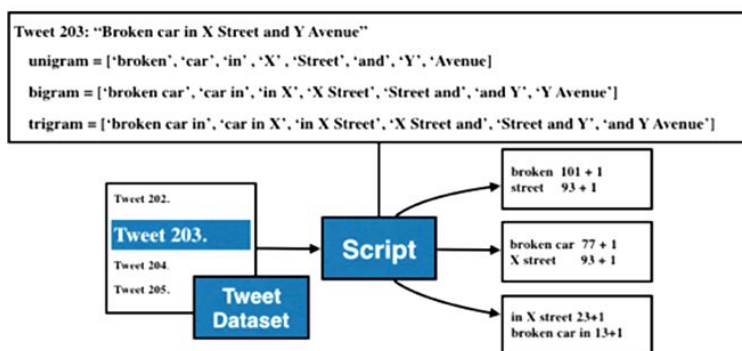


Figura 1. Procesamiento para la obtención de n-gramas comunes.

Creación de diccionarios geográficos y nombre de ejes equivalentes

Del resultado obtenido en el proceso anterior, datos de OpenStreetMap y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) fueron utilizados para generar diccionarios que enriquezcan el Gazetteer. Los diccionarios obtenidos son de abreviaturas, de seudónimos, de hashtags, de eventos viales, de estaciones de transporte público, de calles principales (calles que aparecen en los Tweets y en el Gazetteer),

¹ Un n-grama es un segmento de palabra o segmento de frase que pertenece a una más grande (Cavnar *et al.*, 1994).

de lugares, edificios y monumentos y de colonias (Figura 2). Estos diccionarios tienen una componente geográfica relacionada, utilizados para localizar espacialmente eventos y objetos. Es frecuente que las calles tengan más de un nombre, por lo que se usó un Diccionario de ejes equivalentes.

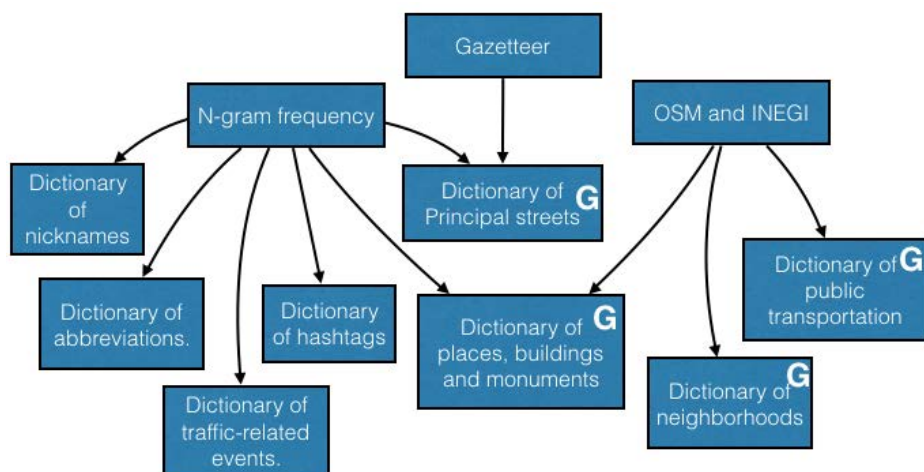


Figura 2. Diccionarios generados.

División del Gazetteer

Existe un grupo reducido de calles donde son concentrados la mayoría de los eventos viales, usando la frecuencia de los n-gramas, se verificó que solo el 19% de las calles del Gazetteer aparece en los tweets. En consecuencia, el Gazetteer es dividido en dos partes, la primera, formada por las calles más frecuentes mencionadas en Twitter y la segunda, está compuesta por las calles restantes. Aunque esto no mejora las medidas de validación utilizadas, el rendimiento de la implementación de la metodología incrementa considerablemente en la identificación y localización.

Estandarización de la información

Para mejorar el proceso de estandarización, los Diccionarios de elementos no geográficos son utilizados (de abreviaturas, de seudónimos, de hashtags). Dentro del Gazetteer se encuentra que las calles incluían abreviaturas, calles en mayúsculas, contienen acentos y elementos sin nombre o con valores por defecto. En esta etapa el nombre de las calles es transformado a minúsculas y se eliminaron los acentos,

además, utilizando el Diccionario de abreviaturas, fueron reemplazadas por su nombre completo. Finalmente, las calles sin nombre fueron eliminadas. Otros problemas detectados dentro del Corpus fueron enlaces a otras cuentas, seudónimos, palabras mal escritas, faltas de ortografía y hashtags. Para solventar estos errores se utilizaron los Diccionarios de seudónimos y hashtags. Enlaces y mención a otras cuentas fueron suprimidos de cada tweet, faltas de ortografía no son resueltas en esta metodología. En el Gazetteer como en la colección de tweets se filtraron stop words.² No existe una lista universal de stop words, por lo que se utilizó la biblioteca Natural Language Toolkit (Bird, 2006).

Identificación y localización de eventos viales

La identificación de objetos geográficos se llevó a cabo utilizando los Diccionarios de objetos geográficos: de calles principales, de calles no comunes, de colonias, de estaciones de transporte público y de lugares, edificios y monumentos. Los eventos viales reportados por las cuentas de Twitter seleccionadas comúnmente hablan de accidentes, malas y buenas condiciones. Por ejemplo, un evento vial es un accidente cuando se menciona dentro de tweets como **choque**, **volcadura**, un evento vial considerado como mala condición es descrito como **lento desplazamiento o vuelta de rueda**. Una buena condición es mencionada como **buen desplazamiento o sigue avanzando, sin problemas**.

Con base en la colección de tweets obtenida y el análisis de frecuencia de n-gramas, un accidente es considerado como un evento que ocurre en un punto específico que tiene relación otros objetos geográficos, por ejemplo, **choque en calle X con calle Y**. Una buena o mala condición es considerada como la situación actual de una calle, comúnmente con uno, dos o tres objetos geográficos relacionados, por ejemplo, **asentamiento sobre calle X de calle Y hasta calle W**. El Diccionario de eventos viales está clasificado por accidentes, buenas y malas condiciones. Ya que un tweet está restringido a 140 caracteres, es difícil publicar un enlace, una mención a una cuenta, un evento vial y más de tres objetos geográficos, por tanto, se identifica que el número de objetos geográficos mencionados en los tweets tienen una relación con el tipo de evento vial.

Cada Diccionario de objetos geográficos tiene una primitiva geográfica (punto, línea, polígono). El de transporte público es representado por puntos, el de calles es representado por segmentos de línea y los de colonias y lugares, edificios y monumentos son representados por polígonos. El resultado de la búsqueda de objetos geográficos de los diccionarios y el *Gazetteer* dentro de los tweets se obtiene como una primitiva geométrica (Figura 3).

² Son palabras que no agregan ningún sentido al enunciado y son más comunes en algunos lenguajes (artículos, pronombres y preposiciones).

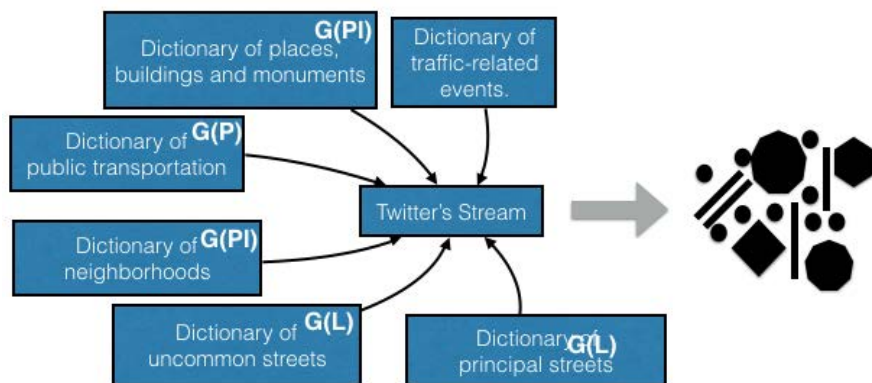


Figura 3. Proceso de identificación de objetos geográficos en el Corpus.

Pueden existir 1, 2 o 3 referencias geográficas, el número de posibles relaciones entre ellas corresponde con la fórmula de combinaciones con reemplazo (Ecuación 1).

$$CR_m^n = \binom{m+n-1}{n} = \frac{(m+n-1)!}{n!(m-1)!} \quad (1)$$

Donde m es el número de elementos posibles a seleccionar, en este caso punto, línea o polígono y n es el número de elementos encontrados.

Se consideraron las siete relaciones: 1 (punto): representa un accidente en una estación de transporte público; 2 (punto, línea): representa una condición de un segmento de calle frente a una estación de transporte público; 3 (línea, línea): representa un accidente en una intersección; 4 (punto, punto, línea): representa una condición de un segmento de calle delimitado por dos estaciones de transporte público; 5 (punto, línea, línea): representa una condición de un segmento de calle delimitado por otra calle y una estación de transporte público; 6 (línea, línea, línea): representa una condición de un segmento de calle y 7 (línea, línea, polígono): representa un segmento de calle delimitado por una calle y un lugar, edificio o monumento.

Se consideraron tres operaciones geográficas: 1) encontrar la intersección entre calles, 2) encontrar el punto más cercano a otro elemento geográfico y 3) encontrar el *bounding box* o envolvente convexa de un segmento de línea. Las operaciones espaciales fueron ejecutadas utilizando las funciones de *PostGIS* como *ST_Intersection*, *ST_ClosestPoint*, *ST_Envelope* y *ST_ConvexHull*.

Generación del conjunto de entrenamiento

La selección de características determina el éxito o el fracaso de un método de aprendizaje, sin embargo, la mejor forma de seleccionar los atributos más relevantes es de forma manual, basado en el conocimiento del problema de aprendizaje y el conocimiento de cada valor (Witten, I. *et al.*, 2005). El resultado del proceso de geolocalización es la salida que tiene asociado cada vector de características, por tanto, las características que fueron consideradas para conformar el vector están relacionadas al tiempo cuando éste ocurrió. Se contemplan como características temporales, el número del mes (1-12), día del mes (1-28:31), día de la semana (1-7) y hora del día (1-24).

Regresión

El modelo de predicción es generado con la biblioteca Scikit-Learn, la cual contiene diferentes métodos de aprendizaje automático, para hacer uso de las Máquinas de Soporte Vectorial para Regresión (Chang, C. *et al.*, 2011). El conjunto de entrenamiento es seccionado en la entrada compuesta por los vectores de características y la salida por los puntos geocodificados. Con el modelo entrenado se realizan predicciones con la sección de entradas del conjunto de prueba, este es tomado de una sección del conjunto de entrenamiento y no forma parte para el proceso de aprendizaje del modelo de predicción. Los resultados obtenidos se comparan con la sección de salida del conjunto de prueba. La Figura 4 muestra una comparación de la sección de salida del conjunto de prueba (ícono Twitter azul) y los puntos pronosticados (ícono precaución rojo).

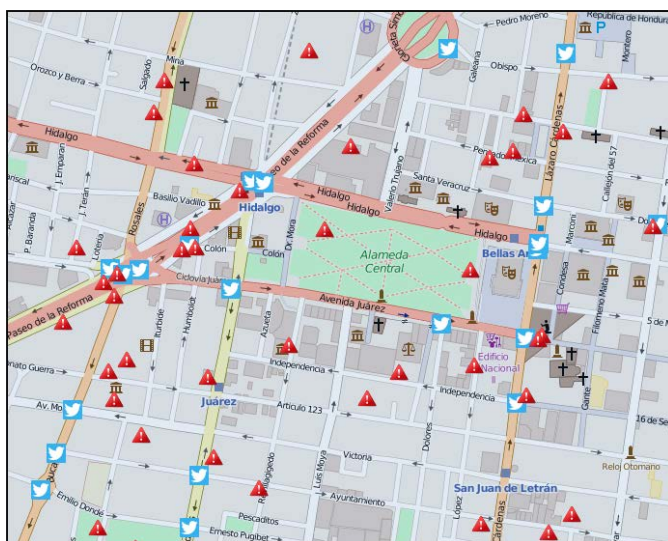


Figura 4. Visualización de puntos pronosticados y los puntos de prueba.

Evaluación, experimentos y resultados

Primeramente, se realiza la evaluación, experimentos y resultados en geocodificación. Para el proceso de predicción de igual forma se describe cuando se considera un verdadero positivo, un falso positivo y un falso negativo para obtener medidas de precision, recall y F. Un verdadero positivo es una muestra encontrada por el sistema que pertenece al conjunto de la solución; un falso positivo es una muestra encontrada por el sistema que NO pertenece al conjunto de la solución; y un falso negativo es una muestra NO encontrada por el sistema que pertenece al conjunto de la solución. El precision es la fracción de instancias que son relevantes con relación al conjunto de instancias recuperadas. El recall es la fracción de instancias que son relevantes con relación al conjunto de instancias que debieron ser recuperadas. La medida F es la precisión de una prueba y refleja la relación entre las medidas precision y recall.

Evaluación para geocodificación

La evaluación considera la calidad de los resultados en los experimentos realizados, para esto se utilizaron las medidas antes mencionadas (precision y recall). Estos parámetros son obtenidos a partir de verdaderos positivos, falsos positivos y falsos negativos. Para evaluar la metodología, 652 tweets fueron geocodificados manualmente. La colección de prueba fue comparada con la metodología descompuesta en etapas, primero por la estandarización, la adición de ejes equivalentes y finalmente con los diccionarios geográficos. Los resultados aparecen en la Tabla 2, donde se observa que tiene una precisión y recall de 85% y 83% respectivamente la cual es superior al 39% y 31% obtenidos de la línea base (el gazetteer).

Tabla 2
Comparación de resultados la geocodificación

	<i>Línea de base</i>	<i>Estandarización</i>	<i>Estandarización + ejes equivalentes</i>	<i>Estandarización + ejes equivalentes + diccionarios</i>	<i>Colección de prueba</i>
<i>Todos encontrados</i>	152	152	427	456	652
<i>Al menos uno encontrado</i>	289	388	599	608	652
<i>Errores</i>	363	264	53	44	0
<i>Precisión</i>	0.39	0.43	0.83	0.85	1.0
<i>Recall</i>	0.31	0.39	0.80	0.83	1.0

Evaluación para predicción

Los problemas de regresión trabajan en el conjunto de los números reales, por tanto, los resultados obtenidos por un modelo de regresión cuentan con un rango de distancia entre el valor de la función y el valor real. Los umbrales establecidos en este trabajo son de 50 metros y 100 metros entre el conjunto de elementos pronosticado por el modelo de predicción y el conjunto de los valores de prueba. El proceso de evaluación se lleva a cabo mediante un conjunto de prueba, el cual es una partición del conjunto de entrenamiento y no es utilizado para generar el modelo de predicción. Los vectores del conjunto de prueba son enviados al modelo de predicción y la salida del modelo generado se compara con las coordenadas del conjunto de prueba (véase Figura 5), obteniendo verdaderos positivos, falsos positivos y falsos negativos.

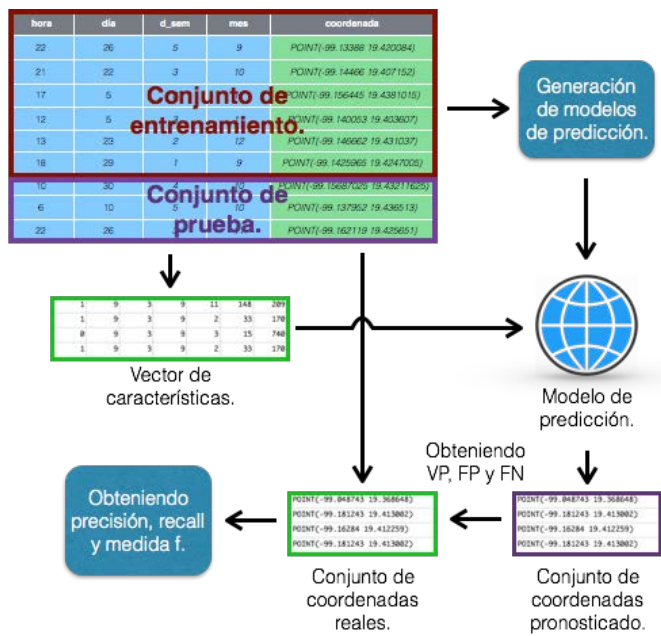


Figura 5. Proceso de evaluación.

Para garantizar que los resultados son independientes del conjunto de entrenamiento y del conjunto de prueba se utiliza validación cruzada. Este método realiza n particiones del conjunto de entrenamiento. Se utilizó la delegación Cuauhtémoc con un umbral de 100 metros, realizando incrementos en el tamaño del conjunto de entrenamiento para cada proceso de evaluación.

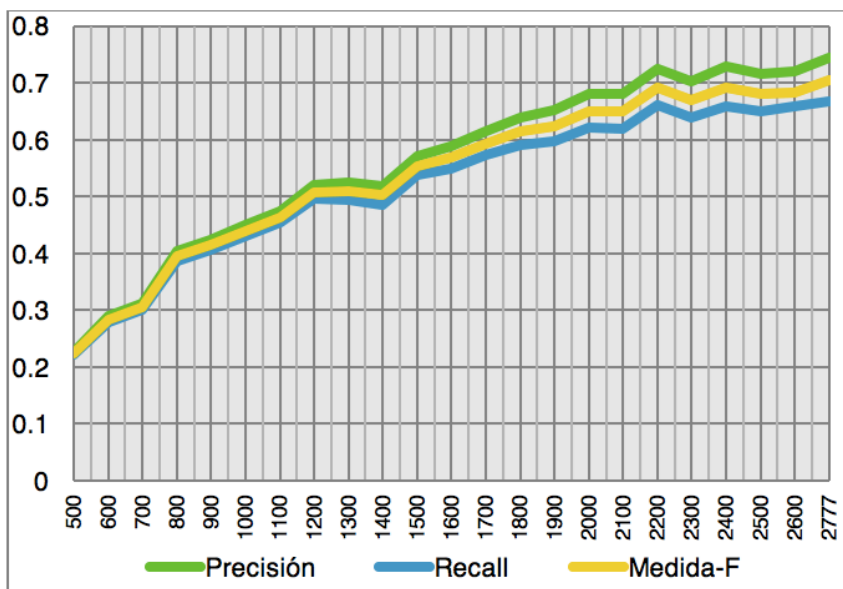


Figura 6. Relación del conjunto de entrenamiento contra la evaluación.

El conjunto de entrenamiento cuenta con las características mencionadas en la sección de Metodología (mes, día, día de la semana y hora) y el método de predicción SVR cuenta con los parámetros kernel rbf, gamma 0.04, constante de penalización de $1e3$ y epsilon $1e-4$. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 6. El incremento en el tamaño del conjunto de entrenamiento tiene relación con el incremento en precision, recall y medida f obtenidos por los modelos de predicción generados. SVR realiza un proceso de aprendizaje del conjunto de entrenamiento; por tanto, entre más grande sea el conjunto de entrenamiento se obtienen modelos más precisos.

Conclusiones

El trabajo de tesis “Monitoreo urbano de entidades y eventos geográficos basado en sensado social”, fue desarrollado con el propósito de geocodificar eventos viales y hacer predicciones basadas en un espacio-tiempo. Esta actividad se llevó a cabo utilizando métodos de aprendizaje automático, particularmente un enfoque supervisado, en donde los datos fueron entrenados y obtenidos mediante una técnica basada en *Crowdsourcing* y específicamente con Información Geográfica Voluntaria (VGI). La elaboración de este trabajo se realizó en dos etapas: la geocodificación y predicción.

En geocodificación se propone una metodología para asignar coordenadas geográficas a información proveniente de Twitter: mejorar considerablemente la geocodificación enriqueciendo un *Gazetteer* con diccionarios auxiliares; realizar una representación más precisa del tipo de evento vial geocodificado y comprobar que el número de objetos geográficos identificados en cada tweet tiene una relación con el tipo de evento. Además, comprobar que la participación en Twitter tiene una relación directa con las horas pico en la Ciudad de México.

En predicción: proponer una forma de crear un conjunto de entrenamiento a partir de datos geocodificados, con el fin de entrenar un método de aprendizaje automático supervisado para regresión. Se propuso una forma de llevar a cabo un análisis espacio-temporal de eventos viales, así como una forma de evaluar los resultados en un ámbito geográfico. Comprobar que el número de eventos geocodificados utilizados como conjunto de entrenamiento, está relacionado con la precisión del modelo de predicción generado. Entre mayor sea el conjunto de entrenamiento mayor es la precisión y la exactitud del modelo de predicción. Se comprobó que la selección de características es un aspecto fundamental para generar un modelo de predicción acertado. La representación de las características de igual forma, es fundamental para generar un modelo de predicción adecuado, las características deben ser presentadas de forma categorizada con el fin de que no pierdan o agreguen sentido a la característica que se quiere modelar.

La selección de parámetros en la generación del modelo afecta significativamente la precisión, parámetros amplios generan falta de aprendizaje y parámetros justos generan sobre entrenamiento, estos valores pueden ser definidos a prueba y error utilizando validación cruzada.

Por lo tanto, se realizó un aporte a la migración de *Ciudades Inteligentes*, realizando una conexión entre una infraestructura vial, una infraestructura social y una infraestructura de tecnologías de la información.

Bibliografía

- Akay, M.F., (2009). "Support vector machines combined with feature selection for breast cancer diagnosis", Expert systems with applications.
- Backstrom, L.; Sun, E. and Marlow, C., (2010). "Find me if you can: improving geographical prediction with social and spatial proximity", Proceedings of the 19th international conference on World wide web, ACM, pp. 61-70.
- Bird, S., (2006). "NLTK: the natural language toolkit", Proceedings of the COLING/ACL on Interactive presentation sessions, Association for Computational Linguistics, pp. 69-72.
- Cavnar, W.B., and Trenkle, J.M., (1994). "N-gram-based text categorization", Ann Arbor MI, pp. 161-175.

- Chang, C.C., and Lin, C.J., (2011). "LIBSVM: a library for support vector machines", *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, pp. 27.^[1]_{SEP}
- Chourabi, H.; Nam, T.; Walker, S.; Gil-Garcia, J.R.; Mellouli, S.; Nahon, K. and Scholl, H.J., (2012). "Understanding smart cities: An integrative framework", *System Science (HICSS)*, 2012 45th Hawaii International Conference, IEEE, pp. 2289-2297.
- Davis Jr, C.A.; Pappa, G.L.; de Oliveira, D.R.R. and L Arcanjo, F., (2011). "Inferring the location of twitter messages based on user relationships", *Transactions in GIS*, pp. 735-751.^[1]_{SEP}
- Delboni, T.; Borges, K.A.; Laender, A.H. and Davis Jr, C.A., (2007). "Semantic expansion of geographic web queries based on natural language positioning expressions", *Transactions in GIS*, pp. 377-397.
- Guo, G.; Li, S.Z. and Chan, K., (2000). "Face recognition by support vector machines", *Automatic Face and Gesture Recognition, Proceedings. Fourth IEEE International Conference*, IEEE, pp. 196-201.
- Huang, W.; Nakamori, Y. and Wang, S.Y. (2005). "Forecasting stock market movement direction with support vector machine", *Computers and Operations Research*.
- Lee, R.; Wakamiya, S. and Sumiya, K., (2013). "Urban area characterization based on crowd behavioral lifelogs over Twitter", *Personal and Ubiquitous Computing*, pp. 605-620.
- Ribeiro Jr, S.S.; Davis Jr, C.A.; Oliveira, D.R.R., Meira Jr, W.; Gonçalves, T. S. and Pappa, G.L., (2012) "Traffic observatory: a system to detect and locate traffic events and conditions using Twitter", *Proceedings of the 5th International Workshop on Location-Based Social Networks*, ACM, pp. 5-11.
- Wang, Y. and Cao, L., (2013). "Discovering latent clusters from geotagged beach images", *Advances in Multimedia Modeling*, Springer, pp. 133-142.
- Witten, I.H. and Frank, E., (2005). "Data Mining: Practical machine learning tools and techniques", Morgan Kaufmann.
- Wu, C.H.; Ho, J.M. and Lee, D.T., (2004). "Travel-time prediction with support vector regression", *Intelligent Transportation Systems*, IEEE, pp. 276-281.

Las IDE 3D: necesidad, desarrollo y líneas de investigación

Javier Valencia*
Ángel Luis Muñoz**

Recibido el 2 de febrero de 2018; aceptado el 6 de abril 2018

Resumen

Este artículo es un resumen de la tesis doctoral desarrollada sobre la situación actual de las IDE con respecto a la tercera dimensión, abordando líneas de investigación a futuro y analizando las necesidades y debilidades que se presentan. Tras profundizar en los conocimientos sobre IDE y, tras comprobar tanto la necesidad como la convergencia de diversas ramas técnico-científicas en materia de gestión de información geográfica (IG) tridimensional, se decide, a través de este trabajo desarrollar un proyecto de investigación centrado en las IDE 3D.

Siguiendo un enfoque cualitativo en el desarrollo de la metodología de investigación, se hace patente la importancia de lo que supone la tercera dimensión espacial para el desempeño de las actividades cotidianas del ser humano en nuestros tiempos. Finalmente, se definen los elementos necesarios para poder implementar una IDE tridimensional, teniendo en cuenta todos los parámetros de desarrollo, tanto técnicos como legales, necesarios para cumplir con los actuales marcos tecnológicos, normativos, jerárquicos y legales.

A través del trabajo desarrollado, se ha constatado que, por lo general, la adaptación de la tercera dimensión por parte de las IDE está en fase germinal, con muchas posibilidades de avance y aporte de contribuciones científicas y tecnológicas. Este documento intenta ser una de esas contribuciones.

Palabras clave: *IDE, 3D, CityGML, BIM, WebGL*.

* LYRA ingeniería & consultoría, España, correo electrónico: javi.valencia.m@gmail.com

** Universidad de Salamanca, España, correo electrónico: almuni@usal.es

Resumo

Este artigo é um resumo da tese de doutorado desenvolvida sobre a situação atual das IDE com respeito a terceira dimensão, abordando linhas de investigação futuras e analisando as necessidades e deficiências que se apresentam. Depois de aprofundar os conhecimentos sobre IDE e de comprovar tanto a necessidade como a convergência de diversas vertentes técnico-científicas em matéria de gestão de informação geográfica (IG) tridimensional, se decide, através deste trabalho desenvolver um projeto de investigação centrado nas IDE 3D.

Seguindo um enfoque qualitativo no desenvolvimento da metodologia de investigação, se faz latente a importância do que implica a terceira dimensão espacial para o desempenho das atividades cotidianas nos nossos tempos. Finalmente, se definem os elementos para poder implementar uma IDE tridimensional, tendo em conta todos los parâmetros de desenvolvimento, tanto técnicos como legais, necessários para cumprir com os atuais marcos tecnológicos, normativos, hierárquicos e legais.

Através do trabalho desenvolvido, se constatou que, em geral, a adaptação da terceira dimensão por parte das IDE está em fase germinal, com muitas possibilidades de avanços e aportes de contribuições científicas e tecnológicas. Este documento intenta ser uma dessas contribuições.

Palavras chave: *IDE, 3D, CityGML, BIM, WebGL*

Abstract

This article is a summary of the doctoral thesis developed about the current situation of SDI with respect to the third dimension, addressing future research lines and analysing the needs and weaknesses showed. After deepening knowledge about SDI and, after checking both the need and the convergence of various technical-scientific branches in terms of three-dimensional geographic information (GI) management, it is decided, through this work, to develop a research project focused on 3D SDI.

Following a qualitative approach in the development of the research methodology, the importance of what the third spatial dimension supposes for the performance of the daily activities of the human being in our times becomes clear. Finally, the necessary elements to be able to implement a three-dimensional SDI are defined, taking into account all the development parameters, both technical and legal, necessary to comply with the current technological, regulatory, hierarchical and legal frameworks.

Through the work developed, it has been found that, in general, the adaptation of the third dimension by the SDI is in germinal phase, with many possibilities for advancement and contribution of scientific and technological contributions. This document tries to be one of those contributions.

Key words: *IDE, 3D, CityGML, BIM, WebGL*

La tercera dimensión espacial. Una necesidad para las IDE

Desde principios de este siglo XXI, se comenzó a vislumbrar la necesidad de trabajar con la tercera dimensión en aplicaciones relacionadas con la bioingeniería y la medicina (Montilla, G.; Bosnjak, A. y Villegas, H., 2002). También se apreciaba esta necesidad en grandes industrias como la cinematográfica y la pujante industria de los juegos (Ahearn, Luke, 2005), en la que no se concibe la fase de diseño sin la recreación de modelos tridimensionales complejos.

Del mismo modo, en arquitectura e ingeniería civil, la tercera dimensión se consolida como información vital para el desarrollo y avance de estas disciplinas tanto en tareas de diseño y proyecto (Monedero, J., 2001), como en labores de ingeniería inversa (Lafont Morgado, P., 1999). De este modo, se constata cómo alrededor de estas disciplinas surgen nuevos conceptos y nuevos campos de uso de este tipo de información: Building Information Models (BIM), recreación tridimensional forense, modelización de sistemas urbanos complejos, etc. La tercera dimensión espacial se ha convertido en una auténtica necesidad para muchas aplicaciones técnico-científicas.

En el mundo de las geotecnologías y, más concretamente en el ámbito de los Sistemas de Información Geográficos (SIG o GIS), se ha pasado de utilizar la tercera dimensión como un atributo o dato adicional que acompaña a un elemento geográfico (Figura 1), a ser un dato esencial para la realización de análisis espaciales (Scianna y Ammoscato, 2010).



Figura 1. Simbolización de la tercera dimensión en un sistema 2D (izquierda) vs. análisis espacial tridimensional con tecnología WebGL (derecha).
Elaboración propia mediante Global Mapper y Cesium.

Al tiempo que la tercera dimensión ha ido creciendo en importancia impulsada por el desarrollo de aplicaciones que se sirven de ella, de manera paralela, la obtención de información tridimensional ha dejado de ser un cuello de botella inducido por el esfuerzo tecnológico y económico que conllevaba hace escasos años su captura y procesamiento. Los medios de adquisición y tratamiento que se utilizan en la actualidad han reducido sus costes y tamaño, pasando de prototipos experimentales no comerciales de la última década del siglo XX a asequibles productos comerciales en la primera década del siglo XXI.

En nuestro “mundo real” se han establecido cuatro dimensiones que para nuestro raciocinio son claras: tres dimensiones espaciales y una dimensión temporal. Si entendemos la cartografía como una modelización de la realidad y, teniendo en cuenta lo anterior, desde el punto de vista teórico, prescindir de una dimensión espacial disminuye objetivamente la calidad del modelo (Varela García *et al.*, 2007). Debemos tener en cuenta, además, la importancia de la tercera dimensión espacial desde el punto de vista práctico. A día de hoy son muchas las aplicaciones, que por necesidad utilizan esta dimensión espacial (de la Calle Alonso *et al.*, 2010).

En la actualidad cualquier computadora de gama media es capaz de trabajar sin ningún problema con datos tridimensionales, renderizándolos y manipulándolos con soltura. Del mismo modo disponemos de distintos lenguajes estandarizados para el tratamiento de información 3D como VRML, Java3D y X3D (Jiménez Macías *et al.*, 2005).

Y si la aparición de las IDE ha supuesto una auténtica revolución en la gestión, uso y difusión de la IG, sin embargo, ante la ausencia de la tercera dimensión espacial en los desarrollos y servicios IDE más comunes, están surgiendo dos problemáticas bien diferenciadas que afectan a los usuarios potenciales de las mismas. Estas dos problemáticas, que se detallarán más adelante, están dejando patente la necesidad de desarrollar todos los elementos necesarios para constituir IDE 3D y, además, se están convirtiendo en auténticos motores de desarrollo de este tipo de tecnologías, como se comprobará a continuación.

El primero de los problemas a los que se hacía referencia surge cuando algún grupo potencial de usuarios de IDE desecha esta tecnología al no resolver sus necesidades en lo que a la tercera dimensión se refiere. Un ejemplo de esto lo tenemos en la arquitectura, que desde hace tiempo viene teorizando y desarrollando los llamados modelos de información de construcción (Building Information Modeling — BIM), que generan y gestionan la geometría de uno o varios edificios, las relaciones espaciales entre sus elementos, la IG, así como las cantidades y las propiedades de los componentes del edificio.

El segundo problema al que se hacía mención surge por parte de aquellos usuarios de IDE, que por sus actuales necesidades, demandan de estos avances para la resolución de problemas asociados a la gestión de la tercera dimensión y que las

IDE, hoy por hoy, no están consiguiendo satisfacer. Dentro de los ejemplos de la segunda tipología de problemas, podríamos citar el Catastro. Prácticamente desde que se inició el desarrollo de los servicios WMS y WFS, el Catastro de nuestro país y el de otras muchas naciones utilizaron dichos servicios para difundir su información. De esta manera, cualquier usuario mediante un cliente pesado, o incluso ligero, podía tener información de cualquier parcela, en cualquier momento. Sin embargo, a la hora de mostrar esta información el resultado era mediante un modelo bidimensional en el que cualquier alusión a la tercera dimensión era un mero número, que en el caso de nuestro país era un número romano (Virgós Soriano y Olivares García, 2008). Esta representación dista mucho de ser efectiva para muchas aplicaciones, por lo que al día de hoy se está procediendo a la revisión de la forma de gestionar, modelizar y publicar la información del Catastro incorporando la tercera dimensión.

Las anteriores experiencias son solo dos ejemplos de por qué las IDE, o no han podido dar solución a una determinada necesidad, o están generando tensiones para intentar resolver ciertas situaciones que se plantean en cuanto a la incorporación y gestión de la tercera dimensión.

Otro caso son las necesidades de representación del territorio, lo más realista posible que ya prometen tecnologías como las BIG Data. Y como ejemplo específico de estas últimas, podríamos citar las “Smart Cities” o ciudades inteligentes, con las que se dota de inteligencia a las infraestructuras, la información y los servicios públicos, al tiempo que se potencia la colaboración entre los diferentes agentes implicados en el entorno municipal.

Debido a la gran cantidad de datos generados desde múltiples fuentes y con diferentes estructuras, así como a las complejas necesidades de gestión e interacción, es en las IDE donde deberían encontrar respuesta las Smart Cities a la gestión de la IG y de las infraestructuras municipales.

Como puede extraerse de lo ya comentado, la tercera dimensión es toda una necesidad a la hora de contemplar las IDE como una herramienta horizontal de almacenamiento, gestión y difusión de la IG, que ya ha pasado de ser bidimensional a tridimensional.

Orígenes y estado del arte de las IDE 3D

Los orígenes del término IDE 3D se podrían establecer en el año 2008 en una publicación de Jens Basanow, Pascal Neis, Steffen Neubauer, Arne Schilling y Alexander Zipf, titulado “Towards 3D Spatial Data Infrastructures (3D-SDI) based on open standards – experiences, results and future issues” (Basanow *et al.*, 2008). La idea fundamental del trabajo era mostrar nuevas tecnologías propuestas para la extensión en la tercera dimensión, sobre la base de la IDE de Heidelberg.

Ya se hablaba de Web3D, de OGC (W3DS), servicio que distribuía los datos en 3D, de CityGML. Se podría decir que es el primer documento que, desde un punto de vista integrador, trata de plasmar los elementos de una IDE 3D conforme a los desarrollos de la época.

Tras esta publicación, que se integró ese mismo año en el libro “Advances in 3D geoinformation systems” (van Oosterom *et al.*, 2008), fueron surgiendo varias e interesantes publicaciones, pero no con un punto de vista tan integrador como el de Basanow.

Sin embargo, mucho antes de esta publicación ya había organizaciones que estaban haciendo grandes desarrollos en el ámbito de la información tridimensional. Una de estas organizaciones es el Web3D Consortium, fundado en 1997. Se trata de una organización internacional, sin ánimo de lucro, financiada por los miembros (empresas privadas, universidades, gobiernos, etc.). Se encargan fundamentalmente del desarrollo de estándares para la publicación de gráficos 3D en Internet. Desarrollaron un estándar, X3D (Extensible 3D), que surgió tras VRML. X3D es un estándar abierto, extensible e interoperable (multiplataforma). X3D, como veremos más adelante, cobra gran importancia a la hora de publicar IG en Internet, ya que se constituye como una de las plataformas más utilizadas para este objetivo.

Otro punto importante de cara al desarrollo de las IDE 3D, sobre todo en lo referente a normas, lenguajes y estándares es la creación del Grupo de Trabajo sobre Gestión de la Información 3D de la OGC (The OGC’s 3D Information Management Working Group), en el año 2005.

Dicho grupo de trabajo está facilitando la definición y desarrollo de estándares que permitan soluciones de manejo y visualización de la IG tridimensional. El foco sobre el que centran sus investigaciones es el establecimiento de un marco de interoperabilidad de IG tridimensional debido a la gran variedad de productos, información y servicios existentes en la actualidad. Este trabajo es de interés para la comunidad geoespacial en el sentido de que existe una creciente necesidad de tecnologías e información para interoperar entre distintas ramas técnico-científicas que, en la actualidad, manejan una gran cantidad de servicios y formatos de una manera dispersa. Para esto se creó el grupo, para identificar y actuar sobre las oportunidades de mejorar la interoperabilidad de datos geoespaciales tridimensionales y servicios relacionados con los anteriores.

Este grupo se está convirtiendo en un foco importante para el desarrollo de los estándares necesarios para una IDE 3D. En él participan desde los más importantes proveedores de software CAD y SIG, pasando por agencias administrativas (como la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial y el Departamento de Seguridad Nacional) hasta gobiernos europeos.

Uno de los principales hitos desarrollados ha sido la adopción de CityGML como estándar OGC (originalmente, la organización alemana de Renania del Norte-Westfalia sig3D desarrolló CityGML) y su impulso, ya que proporciona un modelo estándar para describir objetos 3D con respecto a su geometría, topología, semántica y apariencia.

CityGML también proporciona una forma estándar de integrar la ubicación interior/exterior, es decir, una forma estándar de integrar la ubicación del edificio en las coordenadas globales con los detalles del edificio en coordenadas relativas de los sistemas CAD. Es, por tanto, una puerta abierta a la integración de las IDE 3D con los sistemas BIM.

Por todo lo anterior, CityGML está siendo ampliamente implementado en productos de software y servicios online. Es el estándar para la IG 3D en Holanda (potencia mundial en este tipo de modelos).

También tuvo gran repercusión la adopción de KML como estándar en el año 2008. Suponía adoptar como estándar un lenguaje que ya tenía una gran cantidad de usuarios y desarrollos relacionados con él, gracias sobre todo por el archiconocido Google Earth, plataforma original sobre la que se visualizaban este tipo de ficheros. Suponía la “democratización” de estructuras 3D más complejas en el mundo de la IG.

Ese mismo año se produce otro hito importante que tendrá fuertes repercusiones a la hora de poder hablar de IDE 3D (Basanow *et al.*, 2008), Oracle introduce su 3D Spatial Engine en la versión 11g de su gestor de BB.DD. Desde ese momento se ha ido mejorando y desarrollando este motor para almacenar y gestionar información geométrica tridimensional, con su potencial uso, como no podía ser de otra forma, por parte de la comunidad geoespacial. Sobre este aspecto destacan las contribuciones de Peter van Oosterom, del que ya se ha hablado con anterioridad y que participó directamente en este trabajo.

De una manera algo más modesta, pero no menos importante y también relacionada con la anterior, cabe destacar la contribución que la Fundación OSGeo ha ido desarrollando, sobre todo con su proyecto PostGIS. PostGIS es una extensión del gestor de BB.DD. objeto-relacional PostgreSQL que permite almacenar IG en la propia base de datos. PostGIS incluye soporte para los índices espaciales R-Tree basados en SIGT y funciones para el análisis y procesamiento de objetos SIG y, a partir de su versión 2.0 (2008), comienza a dar soporte a almacenamiento de elementos 3D y funcionalidades relacionadas con estos elementos (Figura 2).

La fundación OSGeo es una organización no gubernamental que trata fundamentalmente de promover tecnologías para el tratamiento de información geoespacial y datos abiertos. Fue constituida en febrero de 2006 para proporcionar apoyo financiero, legal y organizativo a toda la enorme comunidad geoespacial de software libre y software de código abierto.

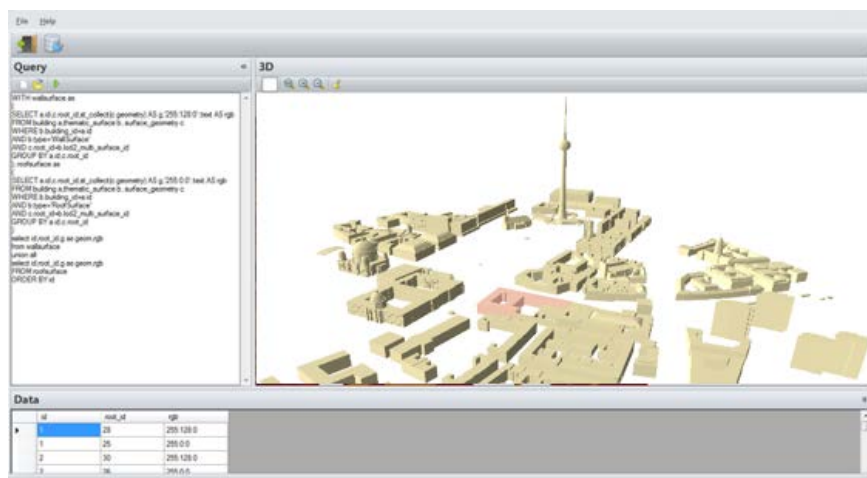


Figura 2. Visor 3D de PostGIS. Elaboración propia.

La fundación OSGeo es una organización no gubernamental que trata fundamentalmente de promover tecnologías para el tratamiento de información geoespacial y datos abiertos. Fue constituida en febrero de 2006 para proporcionar apoyo financiero, legal y organizativo a toda la enorme comunidad geoespacial de software libre y software de código abierto.

Finalmente, relacionado con las BB.DD. y la IG tridimensional, merece mención el trabajo desarrollado por el Departamento de Geoinformática de la Universidad Técnica de Munich, con su desarrollo de 3D City DB. Se trata de una plataforma de base de datos geográfica, abierta, que almacena, representa y administra modelos de ciudades 3D virtuales sobre una base de datos relacional espacial estándar. En este caso, el estándar utilizado es CityGML, con posibilidad de trabajar objetos urbanos semánticos y multidetalle. Dispone, además, de herramientas para facilitar el intercambio de datos como los exportadores a formato KML, COLLADA y glTF para la visualización en plataformas como Google Earth, ArcGIS y Cesium, basado en WebGL, y del que se hablará en profundidad en posteriores capítulos por la importancia que está adquiriendo.

Estos tres últimos hitos suponen un avance importante hacia el desarrollo futuro de IDE 3D, ya que permiten abordar el almacenamiento, gestión y análisis de elementos geométricos tridimensionales dentro de una misma BB.DD. Facilitando así la labor de gestión centralizada de la IG en una única plataforma.

En la segunda década del siglo XXI quizá las aportaciones más interesantes han venido del citado OGC. Desde 1994, el OGC ha estado reuniendo diversas compañías, grupos de investigación y organizaciones gubernamentales para

desarrollar estándares de interfaz y codificación que solucionen problemas de la industria relacionados con el intercambio de IG 3D. Y como el propio grupo de trabajo describe, su alcance se está expandiendo debido, fundamentalmente a nuevas iniciativas que se ocupan de la ubicación de los nuevos desarrollos tecnológicos, tales como Internet de las cosas (IoT), la comunicación de máquina a máquina (M2M), imágenes ópticas, Realidad Aumentada (AR), navegación en interiores, dispositivos móviles incorporados, las redes sociales.

Según el propio OGC, estos nuevos desarrollos tecnológicos impactarán directamente sobre distintas áreas técnico-científicas de la arquitectura, ingeniería, construcción, etc. Nuevas industrias, como el marketing basado en la localización están creando demanda de datos y nuevas fuentes de datos sobre edificios, áreas comerciales e infraestructuras. Por este motivo, el OGC adoptó en 2016 IndoorGML, lenguaje del que se hablará en posteriores capítulos, como estándar para la localización y navegación en interiores.

La interoperabilidad de la ubicación 3D real, en las citadas áreas técnico-científicas, está requiriendo la integración de la información de la ubicación, no solo tridimensional, también interior y exterior (con las implicaciones que esto implica de información tridimensional). Si a esto añadimos los grandes esfuerzos que desde las compañías de CAD, SIG y BIM se están desarrollando en ofrecer plataformas que gestionen la IG tridimensional (Valencia, J. *et al.*, 2015), con sus correspondientes funcionalidades de importación/exportación a lenguajes estandarizados, como CityGML, nos encontramos en una situación propicia para afrontar el desarrollo de IDE 3D.

Fortalezas y debilidades de las IDE 3D

En el momento actual las IDE poseen el potencial y los medios suficientes para poder gestionar y publicar información tridimensional, si bien existen algunas lagunas en determinados servicios o componentes de las mismas.

En lo referente a la parte correspondiente a la gestión interna de una IDE, existen las suficientes herramientas, modelos, formatos, etc., para poder ser desarrolladas. Se anota la situación de continuo avance tanto en el desarrollo de herramientas de gestión, con potentes programas y BB.DD., así como las variadas líneas de investigación en lo referente a algorítmica para la creación de información semántica a partir de grandes nubes de puntos. Se están haciendo continuos avances para obtener información semántica a partir de grandes nubes de puntos y los sistemas de gestión de este tipo de información se manejan sin problemas desde sistemas comerciales desarrollados para visualizaciones realistas hasta sistemas de gestión de BB.DD. para manejos y accesos rápidos a las mismas.

En este punto también es necesario citar aquellas ramas tecnológicas que son capaces de aportar directamente modelos 3D, perfectamente elaborados desde el

punto de vista semántico, como el CAD 3D y, sobre todo los BIM. En este sentido, ambas tecnologías son capaces de generar modelos 3D semánticos con la suficiente precisión como para ser visualizados a un LoD 4 (El-Mekawy, M., 2010).

En esta interesante sinergia entre los BIM y las IDE podemos diferenciar dos tipos distintos de modelos tridimensionales de ciudad, los modelos de diseño y los modelos del mundo real. Los primeros se utilizan generalmente para los propósitos de la industria de la construcción y para cumplir con los requisitos de un nivel máximo de detalle en la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción. Los modelos del mundo real, sin embargo, son sistemas de información geoespacial que representan objetos espaciales ampliamente representados en aplicaciones SIG. Los esfuerzos de investigación en la industria de la construcción dieron como resultado los BIM, modelos que soportan la gestión de la información a lo largo del ciclo de vida de los edificios.

Los resultados de diferentes esfuerzos de integración de BIM e IDE muestran que sólo la información geométrica en 3D no cumple el propósito de integración y puede conducir a la inconsistencia geométrica. Se requiere más información semántica compleja (Figura 3).

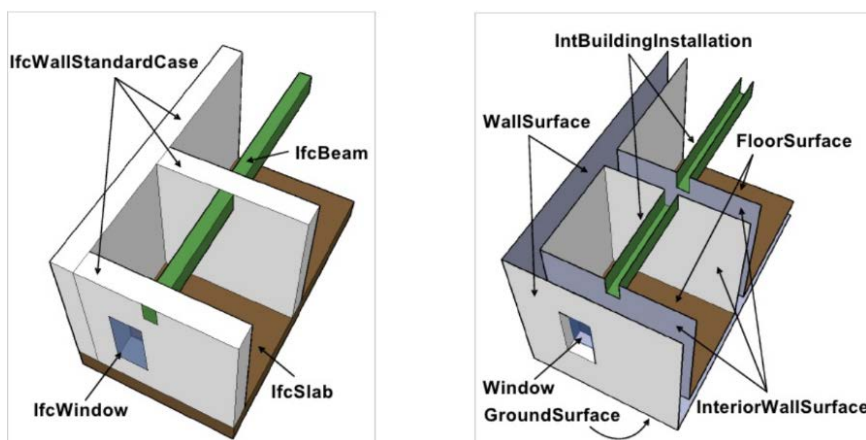


Figura 3. Modelo BIM, IFC (izquierda). Modelo IDE, CityGML (derecha) (Thomas H. Kolbe).

En lo referente a las normas de metadatos aplicables a las IDE, se observan lagunas en lo que a la IG tridimensional se refiere. Dichas lagunas se comunican, como no podía ser de otra forma, a los servicios de catálogo, encargados de permitir las búsquedas y filtrados de IG tridimensional. Pero también se vislumbran soluciones a estas carencias en futuras revisiones de las distintas normas.

La normativa que mejor acogida tiene con la información tridimensional es la ISO 19115, contando con una serie de atributos básicos. Sin embargo, hay una serie de problemáticas asociadas a la misma respecto a las necesidades de desarrollo de una IDE 3D (Dietze, L. *et al.*, 2007). En el caso de todos aquellos modelos basados en LoD, debería existir la posibilidad de ampliar aún más la ISO 19115 en este sentido. Tengamos en cuenta que el LoD, por ejemplo en los modelos CityGML va implícito en el archivo, sin embargo con la intención de facilitar los servicios de búsqueda y de catálogo, esta información debería estar disponible en los metadatos. Una posibilidad para solucionar este problema sería la subclase MD_DataIdentification de la clase MD_Identification, con un nuevo atributo levelOfDetail, con valor entero entre 0 y 4 para definir el LoD. Por supuesto, esta problemática se repite en la norma Dublin Core.

Otro problema adicional es que en las normas de metadatos analizadas no se permite conocer con mayor precisión qué información de partida se utilizó para la creación de los modelos 3D. Aunque la ISO 19115 permite definir la calidad de los MDE, no es capaz de profundizar en este dato.

Finalmente, otro problema detectado es la escasa capacidad que tienen las normas para informar sobre los elementos semánticos de un modelo 3D. Si bien muchos modelos tridimensionales incorporan una extensa información semántica sobre los elementos que incorpora, sobre todo los modelos de ciudad con un LoD 3 o 4, las normas de metadatos analizadas hasta el momento no son capaces de recoger e informar sobre esta riqueza de información semántica.

De todo lo analizado hasta el momento con respecto a los metadatos y las IDE 3D, se puede concluir que aunque existe una mínima estructura capaz de soportar este tipo de información, no han sido todavía desarrolladas para ofrecer todo el potencial de un esquema de metadatos a nivel de IG tridimensional. Sin embargo, existen posibilidades de ampliación gracias a las figuras de propuestas de desarrollo de las distintas normativas, por lo que se puede concluir que, aunque no están totalmente desarrolladas estas normativas, conforme se vayan presentando y aprobando dichas propuestas, el grado de desarrollo provocará que a corto plazo, dichas normativas sean capaces de afrontar el desarrollo de IDE 3D.

Por lo que respecta a los protocolos de intercambio y comunicación, se constata la existencia de suficientes servicios diseñados y desarrollados para servir modelos 3D. Dichos modelos pueden ser tanto continuos como discretos, WCS y WFS, llegando a cubrir con ellos todos los LoD definidos por el OGC. Sin embargo, se han detectado algunas lagunas importantes, sobre todo en lo referente al lenguaje de intercambio en los servicios WFS, mostrando las debilidades y los puntos fuertes de los lenguajes de intercambio, como CityGML y resaltando la existencia de formatos más eficientes en materia de intercambio de modelos 3D, como JSON. A pesar de ello, las nuevas

mejoras que se implementen en futuras versiones de CityGML, junto con la adopción de nuevos estándares por parte del OGC y las conexiones existentes entre este lenguaje y otros con gran potencial práctico, como IndoorGML hacen pensar que CityGML será uno de los principales medios de comunicación de modelos 3D.

Finalmente, en lo que respecta a la parte del cliente final de una IDE, existen distintas soluciones para poder llevar a cabo los procesos de visualización, consulta, navegación, etc. De las dos grandes posibilidades de publicación de IG tridimensional, mediante clientes pesados o mediante clientes ligeros, existen soluciones para poder llevar a cabo este proceso, bien directamente a través de la carga de ficheros mediante archivos, bien mediante conexiones del tipo WFS.

Además se ha podido comprobar la gran cantidad de investigaciones que se están desarrollando en los últimos años sobre la publicación de IG 3D, poniendo el foco de atención en la publicación por Internet. A pesar de esto, es necesario poner de manifiesto la necesidad de herramientas capaces de aglutinar tanto las posibilidades de conexión a modelos 3D vía fichero (CityGML, kml, etc.) o vía conexión WFS, manteniendo las capacidades de análisis y procesado avanzados de modelos 3D, en un entorno de navegación ligero, intuitivo y fácilmente interaccionable. Es decir, se trataría de herramientas con la comodidad de uso en lo relativo a interface, que se puede ver en los clientes ligeros, añadiendo la potencia de análisis y gestión de los clientes ligeros, tanto a nivel de procesado como a nivel de creación de elementos 3D.

Modelo funcional propuesto de una IDE 3D

Para finalizar, con la intención de completar el ciclo investigador, se propone el siguiente esquema funcional, señalando las deficiencias o carencias encontradas y proponiendo cambios o medidas a tomar para hacer posible el desarrollo de las IDE 3D. Dicho diseño se muestra en las tres siguientes imágenes (Figuras 4, 5 y 6).

Se constata la situación de continuo avance tanto en el desarrollo de herramientas de gestión, con potentes programas y BB.DD., como en las variadas líneas de investigación que abordan lo referente a algorítmica para la creación de información semántica a partir de grandes nubes de puntos. Una vez creados los modelos, tenemos la posibilidad de afrontar el desarrollo tanto desde un punto de vista de sistema libre, como utilizando sistemas propietarios, si bien la filosofía intrínseca de una IDE es la del desarrollo lo más abierto posible.

Tras esta distinción, el siguiente paso sería el desarrollo del back-end, habiendo cumplido previamente las distintas normativas (INSPIRE) en la parte referente al modelo de datos. En lo relativo tanto a la parte del back-end como del middleware (conjunto de componentes desarrollados que sirven para integrar aplicaciones) (Figura 5), en este apartado sería necesario contemplar la normativa en materia de metadatos aplicables a las IDE.

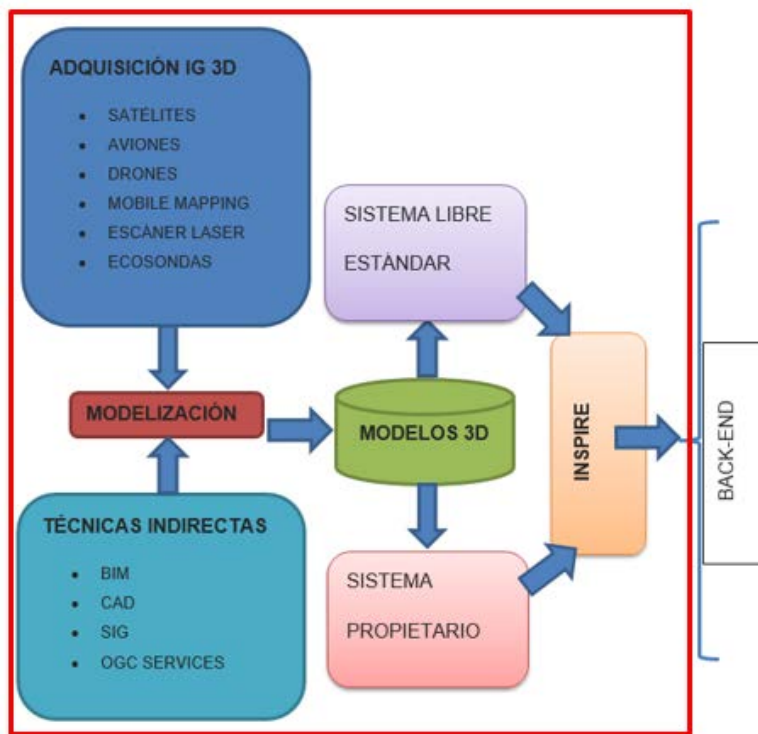


Figura 4. Elementos de adquisición de IG 3D para entrada en la IDE. Elaboración propia.

Respecto al sistema de almacenaje de los modelos 3D, tenemos distintas posibilidades, pasando desde un sencillo sistema de archivos, una BB.DD. relacional o, incluso incorporando las últimas tendencias en materia de BB.DD. no relacionales que están aportando importantes avances en la comunicación de grandes cantidades de datos (Big Data) de todo tipo, incluidos los geográficos. El paso del back-end al middleware se podría hacer en función de la alternativa de almacenaje, mediante archivos (CityGML, JSON, etc.) o sentencias SQL, para las BB.DD. relacionales.

Por lo que respecta a los protocolos de intercambio y comunicación, la parte del middleware, a lo largo de la presente investigación se ha constatado la existencia de suficientes servicios diseñados y desarrollados para servir modelos 3D. Todo esto, junto con las distintas tipologías de lenguajes y formatos de intercambio de modelos 3D, nos daría paso a la parte de front-end, bien mediante servicios HTTP, FTP o web services.

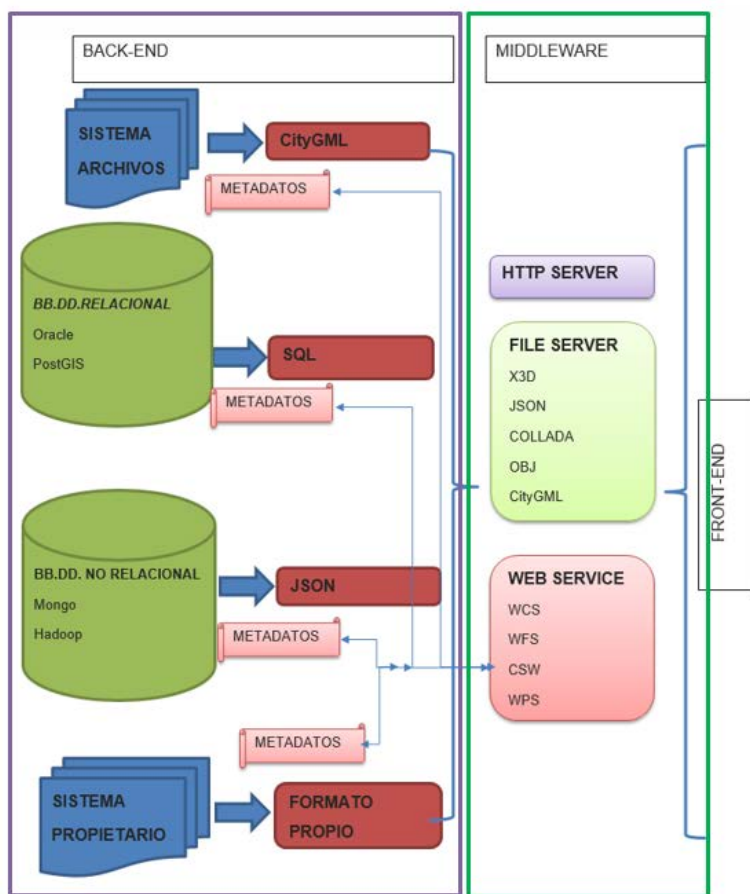


Figura 5. Esquema de Back-End y Middleware de una hipotética IDE 3D. Elaboración propia.

Finalmente, en lo que respecta a la parte del cliente final, la parte correspondiente al front-end, se propone una variante, dependiendo de si el uso lo va a hacer el usuario desde un navegador de internet (cliente ligero) o desde un software de escritorio (cliente pesado). Si la idea es el uso desde la primera opción se propone el desarrollo de aplicaciones web o la adaptación de globos con conexiones a los servidores que alojan la información tridimensional. Si, por el contrario, el usuario necesita más capacidad de análisis y geoproceto, se recomienda el uso de herramientas de escritorio que permitan la carga de modelos 3D y conexiones a servicios WFS.

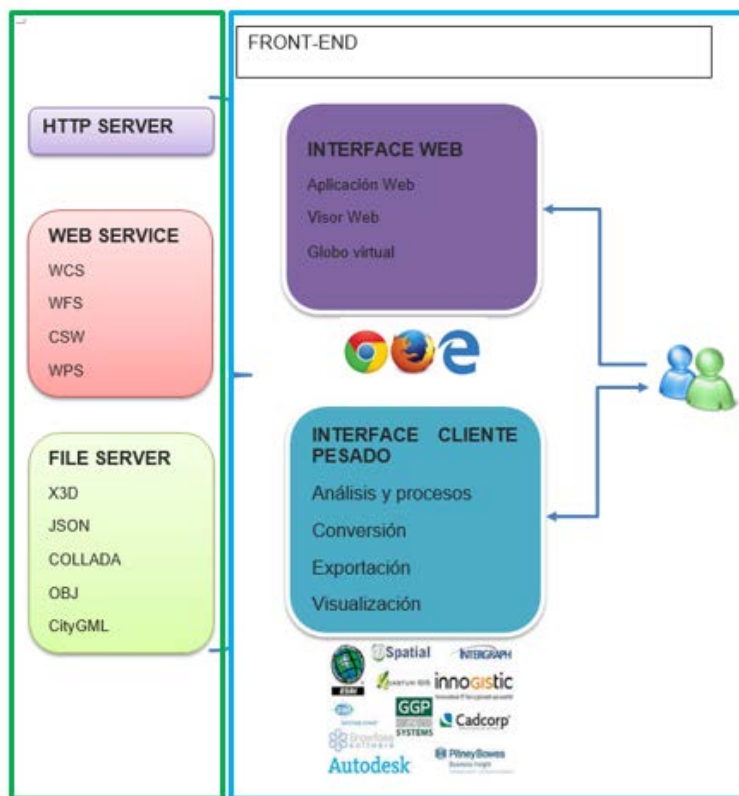


Figura 6. Esquema de Front-End de una hipotética IDE 3D. Elaboración propia.

Las IDE 3D. Líneas futuras de investigación

Son numerosas las líneas de investigación que se están desarrollando en relación con la IG tridimensional, sin embargo, de cara al desarrollo de una IDE, las líneas más interesantes a futuro serían:

Desarrollo de BB.DD. con capacidad de almacenaje de modelos 3D

La principal línea de investigación en lo que a la gestión de la información interna se refiere, es, sin duda, el desarrollo de BB.DD. con capacidad de almacenaje de modelos 3D. En este sentido tanto Oracle, como PostGIS y otras iniciativas menores están desarrollando importantes esfuerzos en mejorar y ampliar las posibilidades de gestión de modelos 3D. Con especial mención a los Gestores de BB.DD. NoSQL.

Algoritmos para obtención de modelos 3D semánticos

Otra línea muy prometedora es la del desarrollo de algoritmos para pasar de forma más o menos automatizada, de modelos 3D brutos a modelos 3D semánticos, tanto en lo que se refiere a nubes de puntos como a píxeles.

Ampliación de normativa de metadatos en materia de IG 3D

En lo que a los metadatos se refiere, las investigaciones a futuro se centrarán, sin duda, en la presentación de nuevas alternativas de ampliación de las actuales normas en materia de modelos 3D. A lo largo de esta investigación se ha mostrado la debilidad de éstas con respecto a la IG 3D, por lo que se hace del todo necesario desarrollar nuevas líneas de investigación de cara a resolver estos problemas.

Mejora de los lenguajes de intercambio

Probablemente la línea de investigación más importante en esta materia esté relacionada con la mejora del lenguaje de intercambio, ya sea definiendo nuevos protocolos, o mejorando los actuales (kml, GML). La posibilidad de dotar a los formatos de la propiedad del multidetalle o la mejora del modelo de CityGML para aumentar en versatilidad, son algunos ejemplos de posibles líneas de investigación.

Publicación de IG 3D

En lo que a las líneas de investigación a futuro relacionadas con las IDE 3D en materia de publicación, probablemente sea aquí dónde haya más recorrido. Existen numerosas iniciativas de cara a la publicación de modelos 3D en Internet, tanto en la parte de cliente, como en la parte de servidor. Además hay que destacar también las investigaciones que están realizando las compañías de desarrollo de software para crear plataformas de trabajo ágiles y potentes, tanto en lo respectivo a la navegación como en la parte de geoprocesos 3D.

Conclusiones

Del análisis de los anteriores apartados se puede finalizar con las siguientes conclusiones:

1. La tercera dimensión es realmente uno de los problemas a afrontar dentro de las IDE. Conforme a las investigaciones desarrolladas ha quedado constatada y verificada esta hipótesis, tal y como se desprende de entrevistas realizadas a importantes personas de renombre nacional e internacional en el área de las IDE. Por otro lado, también se puede inferir directamente la verificación de esta hipótesis del análisis del sistema de seguimiento y actualización de la investigación que se ha desarrollado para esta investigación, en el que se consi-

que rastrear más de 1 400 enlaces bibliográficos en cinco años, relacionados directamente con palabras clave en materia de IDE 3D. La comunidad científica está desarrollando numerosas investigaciones en esta materia.

2. Las IDE 3D son realmente necesarias para dar solución a una serie de problemas que se plantean a corto/medio plazo en relación con distintas áreas técnico-científicas. La verificación de esta hipótesis llega del análisis de la bibliografía utilizada para esta investigación, en la que como ya se ha puesto de relieve, el medio más homogéneo, interoperable y estandarizado para la gestión y publicación de IG, incluyendo la tridimensional, son las IDE. Además se ha constatado que si a la potencialidad de una IDE le añadimos las posibilidades que los modelos tridimensionales ofrecen en materia de análisis en multitud de áreas técnico-científicas, el resultado final es una herramienta con mayor capacidad de obtención de respuestas y alternativas a la hora de la toma de decisiones relacionadas con el entorno y aplicable a una gran cantidad de áreas de estudio. Esta necesidad es también fácilmente extraíble del análisis de varias líneas de investigación que se han aportado en esta tesis, en las que se plasma el interés de comunicar plataformas técnico científicas, como los BIM, la realidad virtual, la realidad aumentada, por ejemplo, con las IDE tridimensionales.
3. Aunque la evolución de una manera estandarizada y rápida no es sencilla, las IDE 3D son proyectos abordables gracias a los distintos desarrollos e investigaciones que se han abordado en los últimos años respecto a la tercera dimensión y la IG. Del mismo modo se han mostrado lagunas o deficiencias y se han puesto en valor líneas de investigación dirigidas a hacer de las IDE 3D plataformas estandarizadas efectivas y eficientes de cara a la gestión y publicación de IG tridimensional. Por todo lo anterior, se puede decir que hay mucho trabajo desarrollado y que la hipótesis quedaría verificada, si bien tal y como en la misma se argumenta, quedan numerosas líneas por desarrollar y hacer llegar a los distintos protagonistas de una IDE, desde los desarrolladores hasta el usuario final.
4. Uno de los aspectos más importantes a afrontar por las IDE, relacionado con la tridimensionalidad, es la comunicación de la IG tridimensional a través de Internet. Conforme a la tendencia natural de las plataformas de uso de IG, en general, la progresión es ir avanzando en la publicación en Internet. Esto es totalmente aplicable a las IDE 3D, lo que se traduce en muchas de las líneas de investigación y aportes que se han presentado a lo largo de este trabajo. Conforme se van haciendo progresos en materia de publicación de modelos 3D en Internet, sobre todo enfocados a juegos y plataformas de ocio, las IDE se nutren de estos aportes para realizar progresos en paralelo, como no podía ser de otra forma.

Bibliografía

- Ahearn, L., (2005). “El arte de los juegos 3d/the art of 3d games (diseño y creatividad)”, Anaya Publishers.
- Basanow, J.; Neis, P.; Neubauer, S.; Schilling, A. and Zipf, A., (2008). “Towards 3D spatial data infrastructures (3D-SDI) based on open standards - experiences, results and future issues”, *Advances in 3D geoinformation systems*, Springer, pp. 65-86.
- Dietze, L.; Nonn, U. and Zipf, A., (2007). “Metadata for 3D city models analysis of the applicability of the ISO 19115 standard and possibilities for further amendments”, *The 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science*, pp. 1-9.
- El-Mekawy, M., (2010). *Integrating BIM and GIS for 3D City Modelling: The Case of IFC and CityGML*.
- Jiménez Macías, E.; Pérez de la Parte, Mercedes; Martínez Cámara, E.; Sanz Adán, F.; Santamaría Peña, J. y Blanco Fernández, J. Escenarios virtuales WEB3D: simulación con VRML, JAVA3D y X3D.
- Lafont Morgado, P., (1999). “Prototipado rápido e ingeniería inversa”, *Revista de Plásticos Modernos*, 77 (514), pp. 384-390.
- Montilla, G.; Bosnjak, A. y Villegas, H., (2002). “Visualización de mundos virtuales en la medicina. Bioingeniería En Iberoamérica: Avances y Desarrollos”, Cap. XX, Carmen Muller-Karger, Miguel Cerrolaza (eds.).
- Scianna, A. and Ammoscato, A., (2010). “3D GIS data model using open source software. Core Spatial Databases-Updating, Maintenance and Services-from Theory to Practice”, Haifa, Israel, 15-17 March 2010. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38 (Part 4), 8-2.
- Van Oosterom; Petrus Johannes Maria; Zlatanova, S. and Penninga, F., (2008). *Advances in 3D geoinformation systems*, Springer.
- Valencia, J.; Muñoz-Nieto, A. and Rodríguez-Gonzálvez, P., (2015). “Virtual modeling for cities of the future”, *isprs - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W4, pp. 179-185.
- Varela García, F.A.; Hernández Ibáñez, L.A.; Taibo Pena, J. y Seoane, A., (2007). “Ampliación de las capacidades de visualización de un SIG libre mediante la comunicación con un navegador 3D”.

Comparing the Thiessen's Method against simpler alternatives using Monte Carlo Simulation*

Marcelo Guelfi**

Carlos López-Vazquez***

Received January 10, 2018; accepted March 5, 2018

Abstract

Estimating the expected value of a function over geographic areas is a problem with a long history. In the beginning of the XX-th century the most common method was just the arithmetic mean of the field measurements ignoring data location. In 1911, Thiessen introduced a new weighting procedure measuring influence through an area and thus indirectly considering closeness between them. In another context, Quenouville created in 1949 the jackknife method which is used to estimate the bias and the standard deviation. In 1979 Efron invented the bootstrap method which, among other things, is useful to estimate the expected value and the confidence interval (CI) from a population. Although the Thiessen's method has been used for more than 100 years, we were unable to find systematic analysis comparing its efficiency against the simple mean, or even to more recent methods like jackknife or bootstrap. In this work we compared four methods to estimate the expected value. Sample mean, Thiessen, the so called here jackknifed Thiessen and bootstrap. All of them are feasible for routine use in a network of fixed locations. The comparison was made using the Friedman's Test after a Monte Carlo simulation. Two cases were taken for study: one analytic with three arbitrary functions and the other using experimental data from daily rain measured with a satellite. The results show that Thiessen's method is the best estimator in almost all the cases with a 95% of confidence interval. Unlike the others, the last two considered methods supply a suitable

* This is a translated version of the work published in 2015, *Revista Cartográfica*, no. 91, 143-157, January-December 2015.

** Facultad de Ingeniería, Universidad ORT URUGUAY, Uruguay, e-mail: marcelo@mguelphi.com.

*** Laboratorio LatinGEO, SGM+ORT, Facultad de Ingeniería, Universidad ORT URUGUAY, Uruguay, e-mail: carloslopez@uni.ort.edu.uy; carlos.lopez@ieee.org.

CI, but the one obtained through jackknifed Thiessen was even more accurate, opening the door for future work.

Key words: *Thiessen, Monte Carlo, bootstrap, jackknife*.

Resumen

La estimación del valor esperado de una función sobre áreas geográficas es un problema que data de tiempo atrás. Hasta principios del siglo XX el método más común solía ser calcular la media aritmética de las medidas obtenidas en el campo ignorando su posición geométrica. En 1911 Thiessen introdujo una nueva forma de cálculo que asignaba a cada punto de medición un peso relativo al área de influencia, que tenía en cuenta indirectamente la proximidad entre datos. En 1949 Quenouville crea, en otro contexto, el método de *jackknife* que se utiliza para estimar el valor esperado y la desviación estándar. En 1979 Efron inventa el método de *bootstrap* que, entre otras cosas, es apropiado para estimar el valor esperado de una población así como su intervalo de confianza (IC). Si bien el método de Thiessen lleva usándose hace más de un siglo, no se han encontrado estudios sistemáticos que comparen su eficacia frente al método anterior ni frente a variantes posteriores como *jackknife* o *bootstrap*. Este trabajo consiste en comparar cuatro métodos para la estimación del valor esperado: el de la media aritmética, el de Thiessen, el aquí denominado *jackknifed* Thiessen y el de *bootstrap*. Todos ellos son aptos para aplicaciones repetitivas en una red de observación fija. La comparación se realizó mediante el Test de Friedman tras una simulación de Monte Carlo. Para los datos se consideran dos casos: uno analítico mediante el estudio de tres funciones arbitrarias, y otro experimental con datos de lluvia diaria medidos por satélite. Los resultados obtenidos muestran que el método de Thiessen es el mejor estimador en prácticamente todos los casos con el 95% de nivel de confianza. Las últimas dos variantes tienen la virtud de suministrar un IC que se mostró adecuado, aunque *jackknifed* Thiessen resultó mucho más ajustado, abriendo así la puerta para futuras investigaciones.

Palabras clave: *Thiessen, Monte Carlo, bootstrap, jackknife*.

Resumo

A estimação do valor esperado de uma função sobre áreas geográficas é um problema que data de tempos atrás. Até o início do século XX o método mais comum consistia em calcular a média aritmética das medidas obtidas em campo, ignorando sua posição geométrica. Em 1911, Thiessen introduziu uma nova fórmula de cálculo que associava cada ponto de medição a um peso relativo a sua área de influência, que levava em conta indiretamente a proximidade entre dados. Em 1949, Quenouville cria, em outro contexto, o método *jackknife* que é usado para estimar o desvio

padrão e a inclinação. Em 1979, Efron inventou o método do bootstrap que, entre outras coisas, é apropriado para estimar o valor esperado de uma população assim como seu intervalo de confiança (IC). Enquanto o método de Thiessen vem sendo usado por mais de um século, não são encontrados estudos sistemáticos que comparem sua eficácia comparado ao método anterior, nem com suas variantes posteriores como jackknife ou bootstrap. Este trabalho consiste na comparação dos quatro métodos de estimação do valor esperado: o da média aritmética, o de Thiessen, o aqui chamado de jackknifed Thiessen e o do bootstrap. Todos eles são adequados para aplicações repetitivas em uma rede de observação fixa. A comparação foi realizada através do Teste de Friedman feita em uma simulação de Monte Carlo. Para os dados são considerados dois casos: um analítico através dos estudos de três funções arbitrárias e outro experimental com dados de chuva diária medidos por satélite. Os resultados obtidos mostram que o método Thiessen é o melhor estimador em praticamente todos os casos com nível de confiança de 95%. As últimas duas variantes tem a virtude de fornecer um IC que se mostrou adequado, embora o jackknifed Thiessen tenha resultados mais precisos, abrindo assim a porta para futuras investigações.

Palavras chave: *Thiessen, Monte Carlo, bootstrap, jackknife.*

Introduction

Either in the Geosciences as well as other areas it is sometimes necessary to estimate a representative value of a variable over a certain domain. As an example, we can mention the population density, the average rainfall over a catchment, etc. It is common in Geosciences that:

- The data to be observed is only known at selected locations (points)
- It is costly (or even impossible) to add points in arbitrary locations
- The mean areal value is more important than the individual readings

This and also other circumstances are valid for meteorological data. The network of measuring stations has been traditionally static, and thus the dataset is a collection of time series measured at fixed locations. One very popular variable is the daily rain; it is used in hydrological, climate or even agricultural calculations and is regularly published in statistical yearbooks in order to characterize the climate of a particular region. The motivation for this work is related with the expected areal value of the daily rain. There exist, of course, other applications even indirect. For example, the National Standard for Spatial Data Accuracy (FGDC, 1998) describes the procedure to calculate a number which is representative of the positional error of a given cartography. Its expression is:

$$Accuracy = 2.4477 * 0.5 * (RMSE_x + RMSE_y) \quad (1)$$

Each one of the last two terms comes, in turn, from a generic expression like

$$(RMSE_x)^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{exact,i})^2}{N} \quad (2)$$

which can be interpreted as the average of the squared difference between the coordinate of a control point and a value deemed to be exact for such point. The coordinates of the control point do not participate in the calculation except through the abovementioned difference. This formula for the average is exactly the same which was common before the work of Thiessen (1911) for meteorological variables like the daily rain. Can we do better? It will be shown below that the Thiessen's method was created to improve the crude estimate for the mean areal value given by expressions like this.

Since the deployment of the first meteorological networks it has been attempted to characterize the spatial variability of the measurements. The networks were designed considering such aspects (mutual distance, estimated values of spatial correlation, etc.) as well as practical considerations (easy access, energy availability, etc.). At the beginning of the XX century the computation capabilities were very limited, so the estimates of a "representative value" of the rain were simply an average of the available data, irrespective of the location and its mutual distance. As early as 1911, Thiessen (Thiessen, 1911) recognized that such numerical procedure suffers from bias, especially when the density of the data points varies in the region. If there is a group of stations close to each other, the average on the region was biased by the local value which was indeed a local phenomenon. That was the motivation to propose the method that is now known as the Thiessen's polygons. It adds weights to the average operation. The weight for a given point is proportional to the area of its neighborhood, defined as the region of points closer to it rather than other in the network. It is easy to show that such neighborhood is a convex polygon, bounded by segments of perpendicular bisectors defined between pairs of measuring points. A simple case is sketched in Figure 1.

It can be argued that the Thiessen criteria is somewhat related with the First Tobler's Law (Tobler, 1970) which can be summarized as "...everything is related to everything else, but near things are more related than distant things...". Thiessen uses as proximity criteria the geometric distance, in a literal interpretation of what Tobler will formalize sixty years later.

Despite its simple formulation, the calculation of Thiessen's polygons is a very active topic, either in the geoscience community as well as mathematics and computer science ones. Outside the meteorological applications the problem is known as Voronoi Diagram, and even there exist a tradition of specific congress devoted to

the topic <<http://bioinf.spbau.ru/isvd2013/home>> considering problems like new calculation methods, parallel computer implementations, new applications, etc.

The motivation for such sustained interest in the topic is related to the non-trivial nature of the computations, which for large number of points and/or large dimensions require special care. Taking this into consideration, it is fit to ask if it is worth the calculation effort considering the quality of the resulting estimate. Unlike what one might think, we were unable to locate any basic paper that compares the performance of other alternatives to compute the mean areal average. That was the motivation of this work, trying to confirm (or deny) that the Thiessen's method is superior to other alternatives, and that its higher computation complexity is justified by its better accuracy. In order to perform a fair comparison we should resort to a controlled experiment (to be described later) and to the application of statistical test to give confidence to the results. We will use the Friedman's Test (Friedman, 1937; 1939). The test assumes that a number of methods were applied to a particular problem (called event), and a ranking among them can be defined for each event. For other event the ranking might vary, and we assume that we collect all the rankings. Given a confidence level (usually 95%) the Friedman's Test analyzes the set of rankings and can prove or disprove that there exist a difference between the methods. In the case under analysis, the methods will be objectively ranked according to the proximity of the areal estimate and its true value.

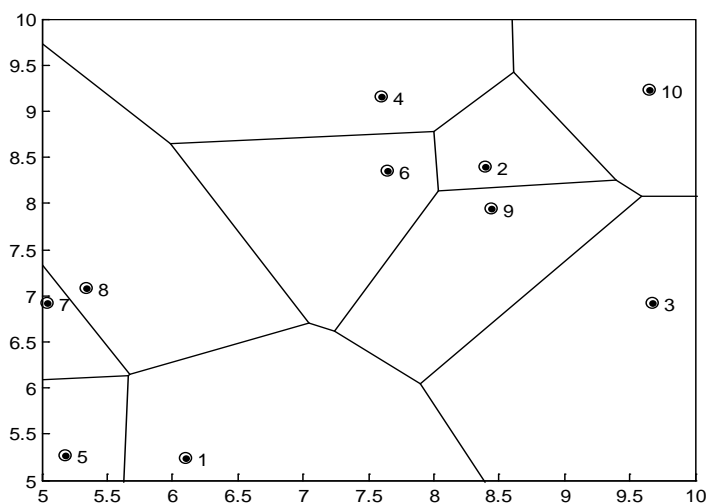


Figure 1. An example of the Thiessen's polygons for N=10.

Source: Own elaboration.

The Friedman's test requires some minimum number of methods and events. In order to fulfill such requirements we have considered the following methods: 1) simple average of all the available data 2) resampled mean (*bootstrap*) 3) standard Thiessen's method and 4) *jackknifed* Thiessen. They will be described below. The number of events will be decided as part of the Monte Carlo simulation. This paper is organized as follows: after the Introduction, we will expose the Methods used in the analysis. Afterwards we will describe the Data and finally we will present the Conclusions.

Methods

Thiessen's Method

In 1911 Alfred Thiessen proposed an alternative procedure for estimating the mean daily rain average over large areas. Given the study region and the location of the weather stations, he calculated the neighborhood area and used it as a weight in the computations. The process was later known as Thiessen's Tessellation, or Voronoi Diagram. The method has been used for over a century using rain as the variable of interest, but also for other meteorological variables and having a number of applications in other disciplines as well.

Despite Thiessen not used such concept, what is intended to estimate is directly linked to the integral of the rain in the domain. In numerical analysis for the estimation of integrals is standard that we first substitute the true function by an interpolant, and afterwards we perform the exact integral of the latter. The reason is very practical: the interpolant is designed to be simpler than the original function, and thus the computations will be cheaper. In the practical problem under study the function itself is not known (just its values at selected points), so we only have the interpolant (which in turn is not unique). The Thiessen estimate is the exact integral of one of them, named Nearest Neighbor. Such interpolant is discontinuous in the borders of the Thiessen's polygons and constant within them, taking the numerical value of its interior data point. Since the polygons are themselves the result of intersecting semi planes, it can be proved that the Thiessen polygons are convex.

Jackknifed Thiessen

This method is proposed in this paper. The *Jackknife* was described for the first time by Quenouille (1949) in the context of time series processing and quickly become popular. García-Guzmán and Calatrava-Requena (1978) summarized in general the procedure discussing advantages and disadvantages. The method consist in a sampling *without replacement* of the available population, producing N values of the desired estimate after processing N dataset each one holding $N-1$ elements, with the i -th missing. The standard Thiessen estimate is built for each configuration,

and a resulting value is computed and stored. After that (and in this work) we calculated the median value of such N values and denote the resulting value as the *jackknifed Thiessen*. The maximum and the minimum values of the set will be considered to define a confidence interval (CI) calculated as $(\min + \max)/2 + 2 * (\max - \min) * [-1, 1]$. The “max” and “min” terms are the maximum and minimum value of the estimate in the set obtained after the N resampled cases. In many applications the number N is low (a few dozens) or mild (less than a hundred), so the computing time required by the *jackknifed Thiessen* is modest. This new method can easily be implemented if the Thiessen one is available, not needing a substantial extra programming effort.

Bootstrap

Efron (1979) presented this method as an alternative to the traditional Jackknife. Unlike it, he proposed to perform a sampling *with replacement*, and afterwards build the estimate as the average of the values of each sampling. Confidence intervals can be inferred as well. Sampling *with replacement* means that an individual point might be considered more than once in each sample. From the computational point of view this procedure is more demanding than the simple average but substantially less than the traditional Thiessen or the *jackknifed Thiessen*. The computer code is very simple, and just requires access to a library for pseudo-random number generation.

Data and methods

Problem description for the analytical case

For the analytical case we have a known function, so it is possible to have an exact value of the integral. Through a Monte Carlo Simulation we performed M events, consisting on the selection of N data points at random within the domain. In such locations we evaluated the function value and afterwards the arithmetic mean, the *bootstrap*, Thiessen and finally the *jackknifed Thiessen* are calculated independently. The result can be organized as a table with M rows and four columns which might be easily compared against the exact value. Thus, a ranking per row among methods can be objectively inferred.

For the analytical case we considered the following three functions:

$$\begin{aligned} f(x, y) &= x^2 y \\ f(x, y) &= \sin(x) \cdot \sin(3y) \\ f(x, y) &= \text{morrisonIII}(1000x, 1000y) \end{aligned} \tag{3}$$

The first two are somewhat arbitrary. The third is due to Morrison (1971) and it is composed of a trigonometric series of 48 terms truncated to the third harmonic.

Its coefficients have been obtained after adjusting the expression to experimental data of a real topography. In all three cases we restricted the integration domain to the square $[0, 1] \times [0, 1]$. Despite the exact analytical value of the integral is accessible, for simplicity we have calculated it through a standard quadrature routine requesting a relative error of 10^{-6} .

Problem description for the experimental case

In this second part we start using a satellite image with estimates of the daily rain, downloaded from <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/toivas>. In the context of this work, the image can be considered as a table of values with $P \gg N$ points (pixels) observed in the field. As before, and to make a fair comparison, we simulate M times the selection of N points. Unlike the analytical case now we have no exact value of the integral to compare with. As an alternative we considered the Thiessen estimate using all the available pixels.

We have used the image covering the region between $[-34.3, -30.5]$ latitude and $[-52.5, -48]$ longitude from June 20th, 2014. The area includes all the catchment area of the Rincón del Bonete dam (Uruguay). The delineation of the catchment and the location of the center of the pixels are shown in Figure 2. After applying the Thiessen estimate using all the 270 pixels available, the mean rain average for such day was nearly 10.8 mm/day, which hereinafter was considered the exact value. For the Monte Carlo Simulation we just have an universe of 97 pixels which lie inside the catchment area (in blue in Figure 2).

How we organize the computation

Let N be the number of points with known values. We considered different values of N just to see the evolution of the accuracy of the estimate when N grows. We selected the cases of N equal to 5, 10, 20, 40 and 50. For each function and N , we performed a Monte Carlo Simulation. In each one and for the analytical case, the coordinates of the N data points were generated with the pseudo-random number generator, using a specific seed in order to make repeatable the computations. With such coordinates we evaluated the analytical functions, producing N functional values. With them, and for each event, we produced an estimate of the expected value using all four available methods. For the experimental case we selected also at random the N available points, thus keeping its value and coordinates.

We used the Friedman's Test (Friedman, 1937; 1939) to compare among methods. Its ultimate goal is to validate the hypothesis that the methods do not differ in performance. The input is a table holding a ranking among methods in each row, with as many rows as events. Each entry of the table is an ordinal number (1, 2, 3,

etc.) which ranks the methods against its peers. The test considers the case of ties, both in the input and in the output. In this particular case there is no practical possibility of ties in the input, because we used as criteria for the ranking the absolute difference between the estimate and the reference value. The method with number 1 at the k-th event (row) would be the one with the smallest difference w.r.t. the reference value, and the one with 4 will have the largest difference. The Friedman’s Test was applied to the 95% confidence level.

Initially we specified M=2000. We generate two disjoint simulations and compared the result of the Friedman’s Test in each. Since there was no agreement, we extended the simulation for 2000 more events and repeated the Test. The process continues until we reached an agreement at 10000 events, which was deemed enough for assuming convergence in the process. All the remaining calculations used jointly the 20000 events. The computer used for the computations has an Intel i7 4770K processor (4 cores 3.5GHz) and the overall simulation required 96 hours.

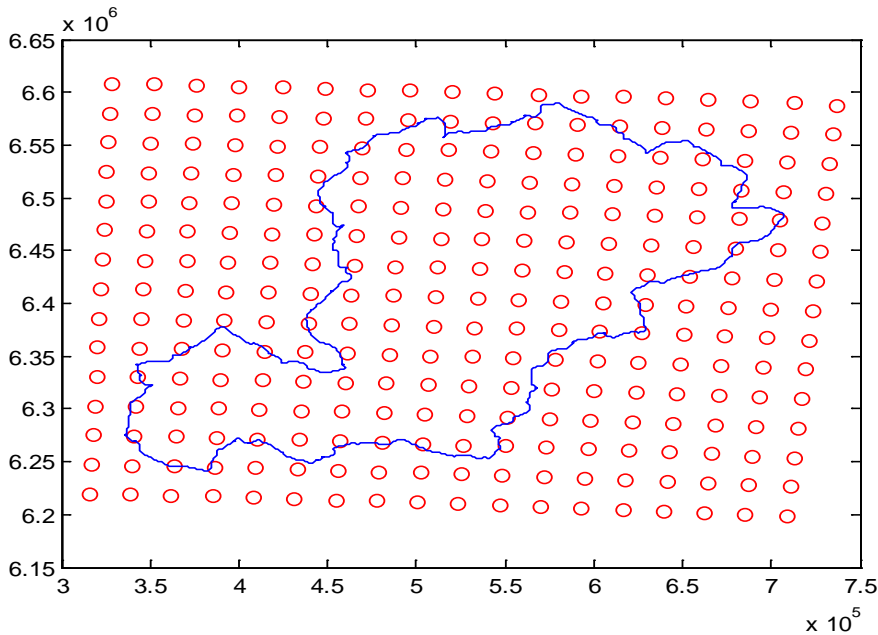


Figure 2. Sketch of the catchment area of the Rincón del Bonete dam and placement of the center of data pixels. Coordinates in UTM 21S. Source: Own elaboration.

Results

The following figures and results are organized according to the analytical function. In each figure the rows (from top to bottom) stands for different N cases, namely 5, 10, 20, 40, and 50. The columns (from left to right) are for each considered method: sample mean, bootstrap, Thiessen and jackknifed Thiessen.

From Fig. 3 describing the case of the function x^2*y it should be noticed the significant dispersion of the arithmetic mean (irrespective of N) while the opposite happens with the jackknifed Thiessen. Also the estimate are somewhat biased when N grows. The CI is, as expected, progressively narrower and the experimental distributions do not look as normal. In Fig. 4 and for the function $\sin(x)*\cos(3y)$ the dispersion pattern is repeated, but the bias is less noticeable. For this example (maybe more realistic than the one before) the distributions seems to be more symmetric. In the case of the Morrison III function (Morrison, 1971) presented in Fig. 5 we show that the methods related with Thiessen are somewhat unbiased, and our proposed jackknifed Thiessen confirms its preference for narrower CI intervals. Never (for any function and for any N) the exact value of the integral was outside the 90% CI, but for the narrower ones it was closer to the maximum value. For the experimental case, reported in Fig. 6, the behavior of the four methods was similar to those of the analytical cases, providing again jackknifed Thiessen a better estimate with a decreasing bias when N grows. The dispersion plot shows a symmetric distribution closer to a normal one.

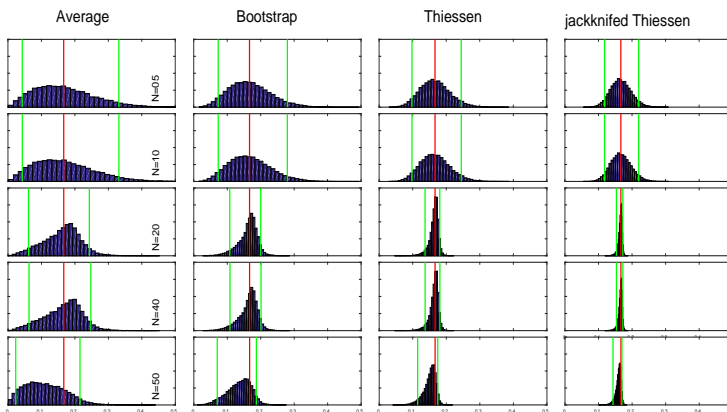


Figure 3: Results of the Monte Carlo Simulation for the x^2*y function. In red we denote the true value (identical for all the plots) and in green the experimental percentiles at 5 and 95%. The x-axes range is the same for all the plots. Source: Own elaboration.

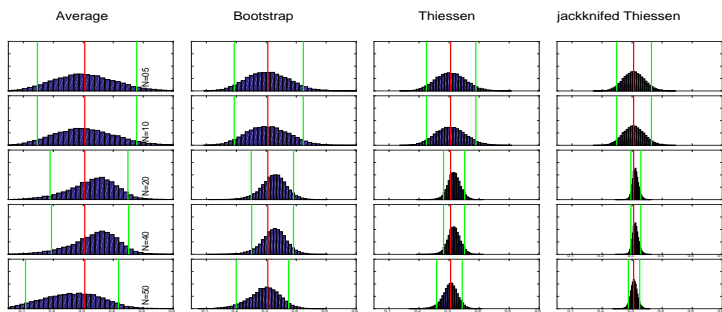


Figure 4. Results of the Monte Carlo Simulation for the $\sin(x) \cdot \cos(3y)$ function. In red we denote the true value (identical for all the plots) and in green the experimental percentiles at 5 and 95%. The x-axes range is the same for all the plots. Source: Own elaboration.

It is clear that the methods are already ordered, from left to right, according to the length of its CI. However, it should be stressed that the result should not be taken as definitive because what it is shown is the result of a simulation. In a practical case (a single event) it should be positively considered that both the *bootstrap* and *jackknifed* Thiessen generate themselves a CI for such event. In other computations (not presented here) we were able to notice that more than 90% of the cases the CI defined as $[\text{average} - 2 \cdot (\text{sample deviation}), \text{average} + 2 \cdot (\text{sample deviation})]$ computed after the *bootstrap* indeed includes the exact value for the case $N=10, 20, 40$ or 50 , while for the case of $N=5$ the same interval was adequate in 84% of the cases. The *jackknifed* Thiessen in turn includes the exact value in more than 92% of the events, irrespective of N .

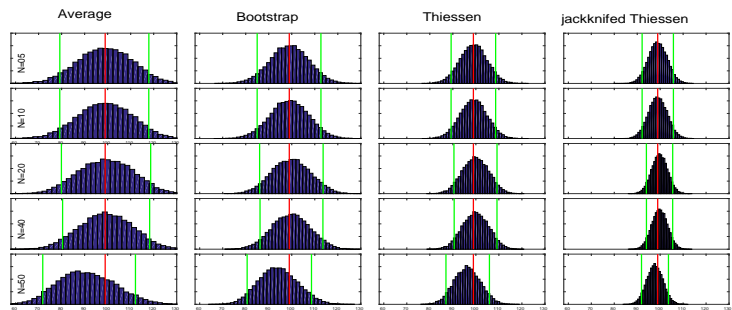


Figure 5. Results of the Monte Carlo Simulation for the Morrison III function. In red we denote the true value (identical for all the plots) and in green the experimental percentiles at 5 and 95%. The x-axes range is the same for all the plots. Source: Own elaboration.

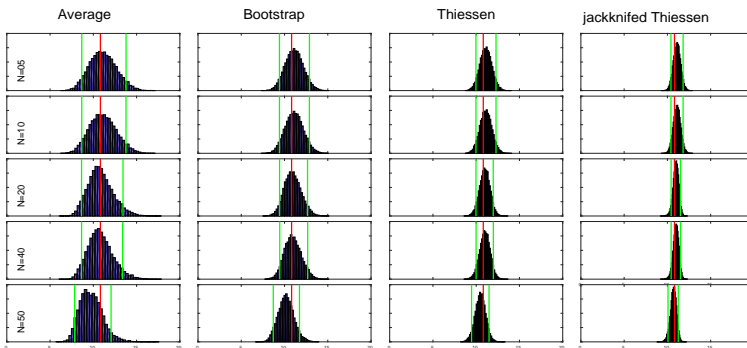


Figure 6. Results of the Monte Carlo Simulation for mean areal rain value of the region described at Figure 2. In red we denote the true value (identical for all the plots) and in green the experimental percentiles at 5 and 95%. The x-axes range is the same for all the plots. Source: Own elaboration.

Despite the results, the already presented figures were not conclusive to answer the question “*it is worth the effort to code Thiessen or any of its flavors instead of simpler alternatives?*” because we have used histograms thus losing information within each event. For this purpose it is fit to use the Friedman’s Test. In Table we can compare the ranking among the four methods for the three analytical cases and as a function of N . The value of “1” denotes the best while the value of “4” denotes the worst. If statistically we were unable to discern that one method is better than other it is denoted as a tie; see for example the case of the Morrison III function for the case of $N=40$, which has a tie between the third and fourth method. If, as the research question states, the comparison was between the simple average and the Thiessen methods, the conclusion is that for all the considered functions (except for Morrison III) the Thiessen alternative is always better. For the Morrison III function such precedence fails for low N ($N=5, 10$ o 20), while for larger N the Thiessen over performs the simple average.

The performance of the *jackknifed* Thiessen was completely unexpected. It was almost always the best option, except when N was too low, and was the second option for the rain case and just for $N=10$. In such case it is likely that the result has weak statistical consequences because of the small problem size. The *bootstrap* was no better but comparable to the simple average. However, its main advantage w.r.t. the simple average is that it is capable of producing a CI, even in practical situations, thus making highly recommendable as an alternative. The estimate of a CI is an advantage also offered by the *jackknifed* Thiessen.

Table 1
Results of the Friedman’s Test for the three analytic functions considered. The ranking was built after considering all 20000 events, and the test was applied with a 95% confidence level

<i>N</i>	x^2y				$sen(x)*sen(3y)$				<i>Morrison III</i>				<i>Rain</i>			
5	3	4	1	2	3	4	1	2	2	3	4	1	3	4	2	1
10	3	4	1	2	3	4	2	1	2	3	4	1	3	4	1	2
20	3	4	2	1	3	4	2	1	2	2	4	1	3	3	1	2
40	3	4	2	1	3	4	2	1	3	3	2	1	3	4	1	2
50	3	4	2	1	3	4	2	1	3	4	2	1	3	4	1	2

Source: Own elaboration.

Conclusions

From the analysis of the Monte Carlo Simulation based upon the histograms and the Friedman’s Test results it can be concluded that for all the studied functions (with the exception of the Morrison III for small N) the standard Thiessen’s method offers systematically a better estimate than the arithmetic mean and its variant the *bootstrap*. After the simulations performed, such results might be stated with a confidence level of 95%, and according to the literature review such conclusion is an original one. The Morrison III function follows the same rule but only if N is larger than 40. An explanation for such behavior is the large variability of the surface in the interval. With a small N value simply the Thiessen method cannot catch such fluctuations.

In turn, the newly proposed *jackknifed* Thiessen was even better than the standard Thiessen for the analytical cases. Such improvement comes at the price of extra computing time, which is more significative when N grows. For the analytical cases the computing time was 1.3x for N=5, 2.8x for N=10 and 4x with N=20. Considering the increased computing time it is worth to ask if it can be justified in practice. One advantage of the *jackknifed* Thiessen procedure is that it also produced a CI. Due to the inherent parallel nature of the simulations it might be explored to perform this computation in a parallel environment like the GPU. For the analyzed functions the *bootstrap* is in many cases comparable to the mere average. But, as in the case of the *jackknifed* Thiessen, this method offers a CI. Beyond our own results, *bootstrap* is a known and widely tested method for its accuracy, performance, and simplicity to code, and thus is a very practical alternative if a CI is required.

References

- Efron, B. (1979). "Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife". *The Annals of Statistics* 7, 1, 1-26.
- FGDC, 1998. "Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy", *Federal Geographic Data Committee, FGDC-STD-007.3-1998*, 28 pp.
- Friedman, M. (1937). "The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance", *Journal of the American Statistical Association*, 32, 200, 675-701.
- Friedman, M. (1939). "A correction: The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance", *Journal of the American Statistical Association*, 34, 205, 109-109.
- García-Guzmán. A.; Calatrava-Requena, J. (1978). "Algunas consideraciones sobre la naturaleza de la técnica Jackknife de estimación y las ventajas e inconvenientes de su uso en diversos problemas de inferencia estadística", *Estadística Española*, 78-79, 57-73.
- Morrison, J.L., (1971). "Method-Produced Error in Isarithmic Mapping", *American Congress on Surveying and Mapping*, Technical Monograph No. CA-5, 75 pp.
- Quenouille, M.H. (1949). "Approximate tests of correlation in time series", *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 11, 18-44.
- Thiessen, A. (1911). "Precipitation averages for large areas", *Monthly Weather Review*, 39, 7, pp. 1082-1084.
- Tobler, W.R. (1970). "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region", *Economic Geography*, 46, pp. 234, p. 40.

Metodologías de detección de *outliers* en datos espaciales, temporales y espacio-temporales

Isabel Blasco Fernández*

Recibido el 9 de febrero de 2018; aceptado el 30 de marzo de 2018

Resumen

En la obtención de conjuntos de datos se pueden detectar registros con valores mucho mayores o menores a los usuales. Dichos registros, denominados *outliers*, pueden ser correctos, o ser el resultado de errores de captura o del procesado de los datos. El estudio y la detección de *outliers* ayuda a revelar información valiosa de los conjuntos de datos, así como a depurar las bases de datos de información que pueda ser errónea. En este trabajo se describen distintos métodos de detección de *outliers* propuestos recientemente y aplicados al marco espacial y espacio-temporal, junto con los resultados de su aplicación. Entre las propuestas se abordan métodos puramente espaciales, puramente temporales y otros mixtos que han demostrado su valía en ensayos controlados. Entre otros se considerarán: 1) emplear un algoritmo que tiene en cuenta los datos temporales y combina las ventajas del *clustering* y la aproximación basada en la densidad; 2) comparar el valor obtenido por un sensor con el valor esperado calculado de forma incremental, al tener en cuenta la correlación temporal de los datos que muestran una correlación espacial en el pasado reciente; 3) plantear un algoritmo que detecta *outliers* en grandes bases de datos espacio-temporales a partir del uso conjunto de la información espacial, no espacial y valores temporales; 4) detectar *outliers* en bases de datos temporales a partir de reglas de asociación extraídas del comportamiento normal de los objetos de un conjunto de datos, de forma que se definen relaciones entre los atributos y el tiempo; 5) detectar los *outliers* en las propiedades globales del conjunto de datos, en contraste con la mayoría de métodos existentes que lo aplican de forma local y 6) asignar, para el caso específico de los *outliers* espaciales, diferentes pesos para diferentes vecinos a la hora de calcular el objeto central, determinando el peso a través de relaciones espaciales tales como la distancia. A partir de los diferentes

* Ingeniero Técnico Forestal y Master en Ingeniería Geodésica y Cartografía por la Universidad Politécnica de Madrid, correo electrónico: isablascofer@gmail.com.

métodos expuestos, se evidenciará la importancia de aplicar un método u otro en función de los conjuntos de datos a analizar, así como la necesidad de continuar avanzando en la mejora de la eficacia, fiabilidad y rapidez de los métodos de detección de *outliers*.

Palabras clave: *Outlier, Espacio-temporal, Clúster*.

Resumo

Na obtenção de conjuntos de dados é possível detectar registros com valores muito maiores ou menores aos usuais. Estes registros, denominados *outliers*, podem ser corretos, ou ser o resultado de erros de captura ou de processamento dos dados. O estudo e a detecção de *outliers* ajuda a revelar informação valiosa dos conjuntos de dados, assim como a depurar as bases de dados de informação que possa ser errônea. Neste trabalho se descrevem distintos métodos de detecção de *outliers* propostos recentemente e aplicados ao marco espacial e espaço-temporal, junto com os resultados de sua aplicação. Entre as propostas se abordam métodos puramente espaciais, puramente temporais e outros mistos que têm demonstrado seu valor em ensaios controlados. Entre outros, se considerou: 1) empregar um algoritmo que tem em conta os dados temporais e combina as vantagens do *clustering* e a aproximação baseada em densidade; 2) comparar o valor obtido por um sensor com o valor esperado calculado de forma incremental, ao se ter em conta a correlação temporal dos dados que mostram uma correlação espacial no passado recente; 3) criar um algoritmo que detecta *outliers* em grandes bases de dados espaço-temporais a partir do uso conjunto da informação espacial, não espacial e valores temporais; 4) detectar *outliers* em bases de dados temporais a partir de regras de associação extraídas do comportamento normal dos objetos de um conjunto de dados, de forma que se definem relações entre os atributos o tempo; 5) detectar os *outliers* nas propriedades globais do conjunto de dados, em contraste com a maioria dos métodos existentes que se aplicam de forma local e 6) alocar, para o caso específico dos *outliers* espaciais, diferentes pesos para diferentes vizinhos na hora de calcular o objeto central, determinando o peso através de relações espaciais tais como a distância. A partir dos diferentes métodos expostos, se evidenciará a importância de se aplicar um método ou outro em função dos conjuntos de dados a analisar, assim como a necessidade de continuar avançando na melhora da eficácia, confiabilidade e rapidez dos métodos de detecção de *outliers*.

Palavras chave: *Outlier, Espaço-temporal, Cluster*.

Abstract

While you are recording datasets it is possible to notice values which are substantially larger or smaller than usual. Such registers, named outliers hereinafter, might be correct,

or might arise after a data recording error or a processing error. Research on outlier detection might provide useful information about the dataset, while being helpful in the database cleansing operation. In this paper we describe different methodologies recently proposed for outlier detection, intended for spatial and spatio-temporal dataset, as well as case results. Among them, we distinguish between those purely spatial, purely temporal, and mixed ones that have proven its value in controlled experiments. Among others we will discuss: 1) use an algorithm that considers temporal data while combines the advantages of clustering and approximations based upon kernel densities 2) compare the measured value with its expected value calculated in a incremental fashion considering temporal correlation, thus showing a spatial correlation in the recent past 3) propose a new algorithm for outlier detection for large spatio-temporal databases using spatial and aspatial information as well as temporal information 4) detect outliers in temporal databases using association rules extracted from the normal behaviour and linking temporal evolution of the attributes 5) detect the outliers based upon the global properties of the dataset unlike most of the prevailing methods which have a local span and 6) assign, for the specific case of spatial outliers, different weights for different neighbors in order to estimate the central value, and estimating the weights as functions of the distance. After analyzing the different methods described, the importance of selecting one method or another will be shown. It is necessary to prosecute the research on the reliability and speed of the outlier detection algorithms.

Key words: *Outlier, Temporal-space, Clúster.*

Introducción

La identificación de casos que, por alguna razón, no encajan bien con el resto del conjunto de datos —*outliers* (Schuber, Wojdanewski, Zimer y Kriegel, 2012), ha recibido recientemente gran atención en muchos ámbitos de la ciencia. Aunque los *outliers* son, por definición, poco frecuentes, su importancia es elevada en comparación con otros eventos (Yang, Latecki and Pokrajac, 2009). En los últimos años, los avances tecnológicos en la recopilación de datos han facilitado la obtención masiva de información, por lo que la detección de valores inusuales o valores erróneos está adquiriendo progresivamente un mayor interés en el análisis de los conjuntos de datos. A modo de ejemplo, cuando se parte de unos datos brutos para realizar una investigación, estos pueden estar contaminados por información errónea que puede ser consecuencia del mal estado del instrumento de medida. Si de esa información no se extraen los *outliers*, los resultados del estudio podrían quedar falseados. Esto explica por qué la detección de *outliers* es un área de investigación muy activa con nuevos métodos propuestos cada año, sobre la base de diferentes metodologías como el razonamiento estadístico (Hadi, Rahmatullah and Werner, 2009), las distancias (Angulli and Pizzuti, 2001; Knorr *et al.*, 2000; Orair *et al.*, 2010; Ramaswamy *et al.*, 2000;

Vu and Gopalkrishnan, 2009; Zhang *et al.*, 2009) o las densidades (Breunig *et al.*, 2000; Vries *et al.*, 2010; Keller *et al.*, 2012; Kriegel *et al.*, 2009).

A continuación, se presentan seis métodos de detección de *outliers* desarrollados en los últimos años, así como ejemplos de su aplicación, dejando a un lado los métodos tradicionales descritos por ejemplo en (Ben-Gal, 2005). Por último, se efectúa una reflexión final sobre los métodos presentados y, en general, sobre los *outliers*.

Métodos novedosos de detección de outliers

En el presente trabajo se exponen seis métodos desarrollados en los últimos años por diferentes autores para detectar *outliers* (Yang *et al.*, 2009; Cheng *et al.*, 2009; Ap-pice *et al.*, 2014; Birant *et al.*, 2006; Bruno *et al.*, 2010; Yufeng, 2006). En primer lugar, se describe el modelo STARIMA; después se describe el método SWOD; a continuación se propone el algoritmo de detección de *outliers* ST; luego se propone el algoritmo TOD, seguimos con una variante del algoritmo EM; y finalmente se presenta un algoritmo de detección de *outliers* por ponderación espacial.

Modelo STARIMA (*Space-Time Autoregressive Integrated Moving Average*)

STARIMA (Cheng *et al.*, 2009) es un modelo espacio-temporal dinámico que expresa cada observación en el tiempo t y la ubicación i como una combinación lineal ponderada de las observaciones anteriores y sus observaciones vecinas desplazadas tanto en el espacio como en el tiempo. STARIMA se define con la ecuación 1.

$$z_i(t) = \sum_{k=1}^p \sum_{h=0}^{m_k} \phi_{kh} W^{(h)} z_i(t-k) - \sum_{l=1}^q \sum_{h=0}^{n_l} \theta_{lh} W^{(h)} z_i(t-l) + \varepsilon_i(t) \quad (1)$$

Donde p es el orden autorregresivo, q el orden de media móvil, m_k es el orden espacial del término k -ésimo autorregresivo, n_l es el orden espacial del término l -ésimo medida móvil, ϕ_{kh} es el parámetro autorregresivo del desfase temporal k y del desfase espacial h , θ_{lh} es el parámetro medio de movimiento en el desfase temporal l y en el desfase espacial h , $W^{(h)}$ es la matriz de pesos $N \times N$ para el orden espacial h , y $\varepsilon_i(t)$ es un error aleatorio normal distribuido en un tiempo t y en una ubicación i .

Por su diseño STARIMA captura la estructura de autocorrelación del espacio-tiempo lineal de los datos de series espacio-temporales. Además cuenta con un operador de desfase que es la representación de la dependencia del espacio-tiempo, lo que indica que cada observación $z_i(t)$ en una ubicación i y en un momento t determinado, está influenciado tanto por las series de tiempo anteriores de esa ubicación como por las series temporales de sus vecinos espaciales.

La dependencia espacio-temporal se mide por la función de autocorrelación espacio-temporal (ST-ACF) y el espacio-tiempo con la función de autocorrelación parcial (ST-FAP). A partir del cálculo de la ST-ACF y ST-FAP, se está en condiciones de definir el tiempo de desfase (vecino temporal) y el desfase espacial (vecino espacial).

El orden autorregresivo p y el orden movimiento medio q del modelo STARIMA se eligen provisionalmente después de examinar la autocorrelación espacio-temporal (STACF) y las funciones parciales de autocorrelación espacio-temporal (ST-FAP).

El análisis está basado en un semivariograma que es capaz de describir las variaciones espaciales y temporales, así como determinar la magnitud de la dependencia espacial y el rango de la correlación espacial entre los datos. Los valores dentro del rango estarán espacialmente autocorrelacionados (se pueden considerar vecinos espaciales), mientras que los casos de fuera se considerarán independientes.

Para comprobar la eficacia del procedimiento, los autores utilizaron los datos medios anuales de temperaturas en China con una serie de 52 años, de 1951 a 2002, medidas en 192 estaciones. La primera zona espacial se determinó en 1 550 km utilizando un modelo de semivariograma isotrópico. Mediante el uso de autocorrelación espacio-temporal y las funciones de autocorrelación parcial de STARIMA, el desfase espacial se determina como 1 y el desfase temporal se determina en 2.

Se realizó una investigación de la relación entre año y temperatura para cada estación, obteniéndose una regresión lineal que los autores utilizan para ajustar los datos. Si el residuo para un determinado año es superior a tres veces la desviación estándar de los residuos, este valor se señala como *outlier*, como se puede ver en la Figura 1.

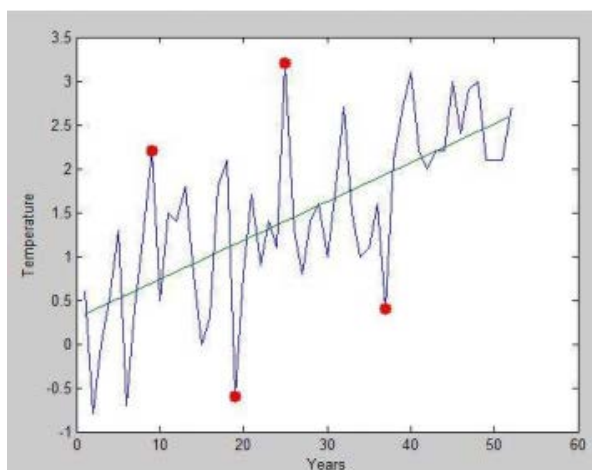


Figura 1. Posibles outliers detectados por el modelo (marcados en rojo). La línea verde muestra la regresión lineal de la estación. Los años de 1 a 51 son los correspondientes a los años 1951 y 2002.

Fuente: Cheng *et al.*, 2009.

El siguiente paso es validar los *outliers*. Para ello se construye el modelo del vecino espacio-temporal (STN) incluyendo observaciones de dos años anteriores cuya distancia a la estación sea inferior a 1 550 km. Después se construye el modelo STN de cada posible *outlier* comparando su temperatura con la $\mu + k\sigma$ y con la $\mu - k\sigma$ de los valores de temperatura de su STN, siendo μ la media y σ la desviación estándar de los valores de temperatura de STN. El parámetro k determina la credibilidad del *outlier*. A medida que k aumenta, los valores extremos detectados serán más distantes en comparación con los valores de k menores. El *outlier* se valida como STO (*outlier* espacio-temporal) si su valor de temperatura es superior a $\mu + k\sigma$ o inferior a $\mu - k\sigma$. En la Figura 2 se observa un ejemplo de los resultados.

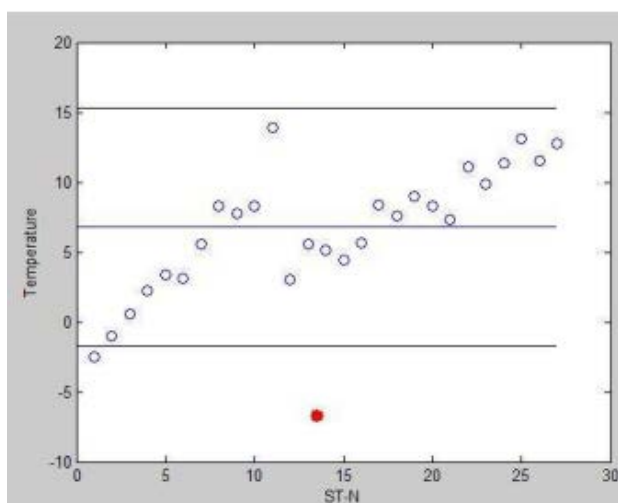


Figura 2. Muestra la verificación de un outlier cuando k es 2. La línea azul horizontal es la medida del STN del valor posible del outlier (punto rojo). Las líneas negras muestran los límites superior e inferior cuando se añade la desviación estándar k veces y se resta y suma a la media.

Fuente: Cheng *et al.*, 2009.

Los autores señalan que una de las ventajas del modelo STARIMA es que su definición se basa en resultados empíricos. Y aunque no lo mencionen, el método presume una distribución normal para la discrepancia entre el dato y su estimador.

SWOD (*Sliding Window Outlier Detector*)

Es un método semi-supervisado para detectar y clasificar los *outliers* que tiene en cuenta la información espacial y temporal. Utiliza modelos que predicen los próximos datos y compara restando los datos previstos y los datos reales para alertar de la existencia de *outliers*. Para ello en cada sensor u se compara cada observación $z_u(t_i)$ con su

predicción $\hat{z}_u(t_i)$. Si $\| z_u(t_i) - \hat{z}_u(t_i) \| > \delta + \varepsilon$, u es considerado un *outlier*, siendo δ el umbral de similitud definido por el usuario y ε es la amplitud del intervalo de confianza de la serie de errores residuales mantenida a lo largo del tiempo de la ventana deslizando para el modelo seleccionado.

El proceso del método SWOD (Appice *et al.*, 2014) aparece representado en la Figura 3. En él se puede ver que realiza una agrupación, que está construida de forma incremental con el modelo de ventana deslizando y se aplica para hacer la predicción de los datos en cada fila (que representa el tiempo t_i). Los datos que se alejan mucho de las predicciones se etiquetan como *outliers*. Estos son clasificados a su vez como cambios o anomalías, siendo estas últimas corregidas.

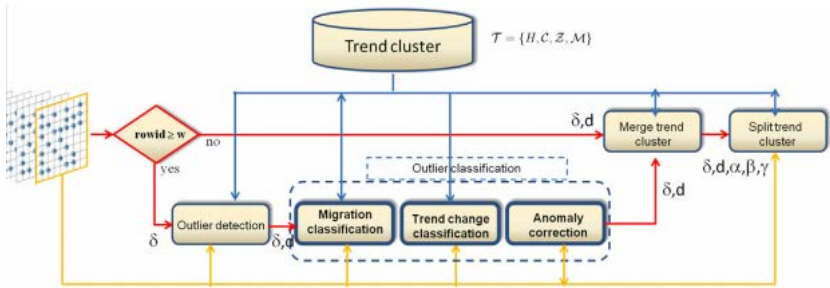


Figura 3. Esquema del proceso del método SWOD.
Fuente: Appice *et al.*, 2014.

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de clasificación de *outliers* y de cómo las anomalías se van intentando recolocar de un grupo de datos a otro.

El modelo de clúster se actualiza de acuerdo con una estrategia de aprendizaje progresivo que opera con cada anomalía corregida en una fila y con cada sensor que se reasigna a una agrupación.

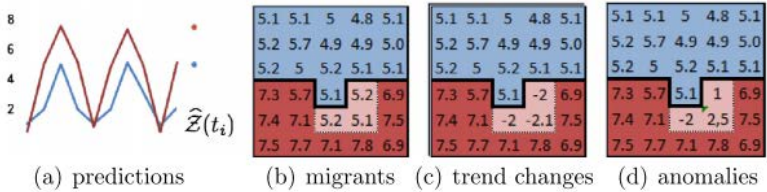


Figura 4. Clasificación de *outliers* según el modelo SWOD. (a) $\hat{z}(t_i)$ es la predicción sugerida por el modelo para la serie histórica (azul). (b) los datos correlacionados del área punteada (rosa) migran hacia la zona azul. (c) los datos correlacionados del área punteada (rosa) cambian de acuerdo con el modelo actualizado. (d) los datos no correlacionados en el área punteada son anomalías.
Fuente: Appice *et al.*, 2014.

Los autores han ensayado el modelo SWOD con datos artificiales (para evaluar tanto la precisión del proceso de clasificación de *outliers* en comparación con otros métodos, como la capacidad de pronóstico del modelo) y con datos reales a partir de redes de varios tamaños. Los métodos utilizados para comparar fueron: 1) TSA (*Time Series Analysis*), que identifica los datos que se alejan significativamente de las predicciones calculadas con un modelo de predicción (ARIMA o el modelo suavizado de predicción) y aprende sensor por sensor (detalles en Sharma *et al.*, 2010); 2) método basado en reglas heurísticas a la restricción de datos (detalles en Ramanathan *et al.*, 2006); 3) SSA (*Segmented Sequence Analysis*), que compara el modelo lineal a trozos de un nuevo dato del segmento con un modelo (temporal y espacial) de referencia (detalles en Yao *et al.*, 2010); y 4) método de detección de anomalías y cambios (A+C), que utiliza ARIMA para detectar valores atípicos y una prueba paramétrica con base en la tasa de error, para filtrar los falsos *outlier* que pertenecen a un periodo de cambio (detalles en Pechenizkiy *et al.*, 2009).

Tras realizar las comprobaciones, los resultados de clasificación revelan que SWOD tiene un desempeño muy superior a otros modelos, independientemente de la regularidad y tamaño de la red utilizada. Además contribuye a comprobar empíricamente la idea analizar conjuntamente la correlación espacial y temporal, puede filtrar con eficiencia falsas anomalías sin disminuir la capacidad de detectar las verdaderas.

ST-Outlier Detection Algorithm

Los autores (Birant *et al.*, 2006) proponen un enfoque en tres pasos para detectar *outliers* espacio-temporales en grandes bases de datos. Ellos son: agrupación o *clustering*, comprobación espacial de vecinos y comprobación temporal de vecinos. El *clustering* es una forma de detectar posibles *outliers*, siendo éstos los objetos no situados dentro de ningún grupo. El algoritmo de *clustering* satisface tres requisitos importantes: 1) realizar concentraciones de forma arbitraria; 2) tener un buen rendimiento en las grandes bases de datos y 3) contar con algunas heurísticas para determinar los parámetros de entrada. Tras ejecutar el algoritmo (que aparece en la Figura 5), pueden aparecer puntos que se marquen como *outliers*, si no aparecen al algoritmo no detectaría ningún *outlier* con este procedimiento.

En la segunda fase, durante la detección de vecinos espaciales, se comprueban tanto los *outliers* detectados, como los grupos diferenciados en el paso anterior, utilizando la definición 1.

Definición 1: dada una base de datos con n objetos $D=\{o1,o2,...,on\}$, se supone que el objeto o se detecta como un *outlier* potencial en la agrupación. El valor medio de los vecinos espaciales de o dentro de un radio $Eps1$ se define como:

$$A \stackrel{\text{def}}{=} \frac{o_{\text{neigh.1}} + o_{\text{neigh.2}} + \dots + o_{\text{neigh.m}}}{m} \quad (2)$$

```

Algorithm ST_Outlier_Detection(D,Eps1,Eps2,MinPts,Δε)

// Clustering Part
Cluster_Label = 0

For i=1 to n                                //(i)
If oi is not in a cluster Then                //(ii)
  X=Retrieve_Neighbors(oi,Eps1,Eps2) //(iii)

  If |X| < MinPts Then
    Mark oi as outlier                        //(iv)
  Else //construct a new cluster (v)
    Cluster_Label = Cluster_Label + 1

    For j=1 to |X|                            //(vi)
      Mark all objects in X with current Cluster_Label
    End For

    Push(all objects in X)                    //(vii)

    While not IsEmpty()
      CurrentObj = Pop()
      Y= Retrieve_Neighbors(CurrentObj, Eps1, Eps2)

      If |Y| >= MinPts Then
        ForAll objects o in Y                //(viii)
          If (o is not marked as outlier or
            it is not in a cluster) and
            |Cluster_Avg() - o.Value| <= Δε Then
            Mark o with current Cluster_Label
            Push(o)
          End If
        End For
      End If
    End While
  End If
End For

Checking_Spatial_Neighbors()
Checking_Temporal_Neighbors()
End Algorithm

```

Figura 5. Algoritmo de detección de *outliers*.

Fuente: Birant *et al.*, 2006.

Donde m es el número de vecinos espaciales dentro de un radio $Eps1$ y la desviación estándar para los objetos se define como la raíz de V , donde

$$V \stackrel{\text{def}}{=} \frac{(o_{\text{neigh1}} - A)^2 + (o_{\text{neigh2}} - A)^2 + \dots + (o_{\text{neigh } m} - A)^2}{m} \quad (3)$$

El objetivo o es clasificado como *outlier* si está dentro del intervalo $[L, U]$, donde $L = A - k_0 \cdot \sigma$, $U = A + k_0 \cdot \sigma$, y $k_0 > 1$ es algún valor preseleccionado.

El tercer paso es la comprobación de los vecinos temporales de los *outliers* detectados en el paso anterior. Dos objetos serán vecinos temporales si sus unidades de tiempo son consecutivas, como días consecutivos en el mismo año o en el mismo día en años consecutivos. Para apoyar los aspectos temporales, los *outliers* se comparan con otros objetos de la misma área, pero en diferentes momentos, filtrando primero sólo los vecinos temporales y sus correspondientes valores. Si el valor marcado como *outlier* no tienen diferencias significativas con sus vecinos temporales, se descarta que sea un *outlier*. En caso contrario se confirma que es un *outlier*.

La fórmula utilizada es similar a la expresada en la definición 1, utilizando los vecinos temporales en vez de los vecinos espaciales.

Para probar el método, los autores utilizaron datos de altura de ola entre 1992 y 2002 de cuatro mares: el Mar Negro, el Mar de Mármara, el Mar Egeo y el este del Mar Mediterráneo. Aplicando el proceso resumido anteriormente, se obtuvo una región con altura de ola extrema en 1998 (Figura 6). Al compararlo con otros años, se comprobó que los valores de altura de olas registrados habitualmente en esa región no eran demasiado altos, por lo que se verificó esa región como *outlier*.

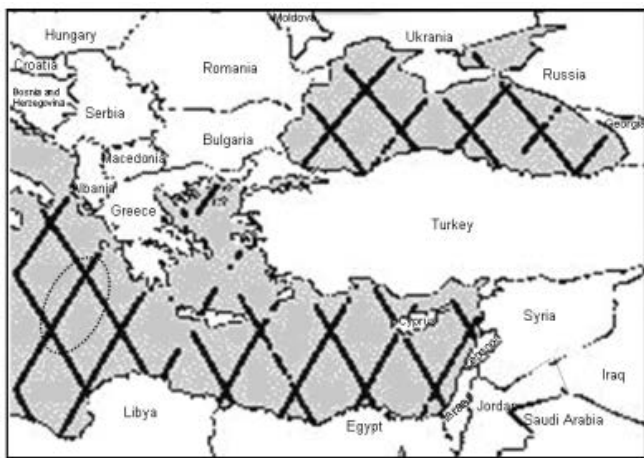


Figura 6. La región marcada con un óvalo punteado se corresponde con el área detectada con altura de ola extrema en 1998.

Fuente: Birant *et al.*, 2006.

TOD (Temporal Outlier Detection)

Es un método basado en reglas de asociación (técnica de minería de datos utilizada para la detección de patrones locales en los sistemas de aprendizaje no supervisado) que deducen el comportamiento normal de los objetos mediante la extracción de reglas de frecuencia en un conjunto de datos (Bruno y Garza, 2010). Para incluir la información del tiempo, se define el concepto de reglas de asociación temporal (extensión de las reglas de asociación que consideran el tiempo de retraso entre el antecesor y el sucesor) que se combinan para generar dependencias cuasi-funcionales temporales para definir las relaciones de los atributos con el tiempo. Dada una dependencia cuasi-funcional temporal, es posible descubrir los *outliers* mediante la consulta de las reglas de asociación temporal almacenadas previamente.

El método deduce las reglas para detectar los *outliers* directamente de los datos. La estructura principal del método TOD se describe en el algoritmo 1 (Figura 7):

Algorihtm 1. TOD: temporal outlier detection algorithm

Input: temporal dataset K , sliding window size w , length of extracted quasi-functional dependency l , minimum dependency degree value $Pthreshold$
Output: set of outliers O
1: /* Extract temporal association rules of length l and discover l -length temporal quasi-functional dependencies analyzing extracted association rules */
2: $TARs = mine_temporal_association_rules(K, w, l)$
3: $TQFDs = mine_temporal_quasi_functional_dependencies(TARs, Pthreshold, l)$
4: /* Highlight outliers by considering mined temporal quasi-functional dependencies */
5: **for all** t in $TQFDs$ **do**
6: $LowConfAssRules = select_low_confidence_rules(t)$
7: $O = O \cup matching_data(K, LowConfAssRules)$
8: **end for**
9: **return** O

Figura 7. Algoritmo con la estructura principal del método TOD.
Fuente: Bruno y Garza, 2010.

Primero se extrae el conjunto de reglas de asociación temporales de la base de datos temporal denominada k con un tamaño de ventana deslizante w y una longitud máxima de l (algoritmo 1, línea 2, Figura 7). Después, se utilizan las reglas asociación de minearía, para extraer las dependencias cuasi-funcionales temporales (algoritmo 1, línea 3, Figura 7). Cada una de estas dependencias extraídas se utiliza para descartar un conjunto de *outliers* (algoritmo1, líneas 5-8, Figura 7). En particular, para cada dependencia, se extraen las reglas de asociación temporales que representan los valores extremos (algoritmo 1, línea 6, Figura 7). A continuación, se realiza un análisis del conjunto de datos que corresponden a una de las reglas seleccionadas se incluyen en el conjunto de *outliers* (algoritmo 1, línea 7, Figura 7)

El algoritmo 2 (Figura 8) muestra con más detalle cómo por cada dependencia cuasi-funcional temporal, se selecciona el conjunto de reglas asociado a los *outliers*.

Algorithm 2. select_low_confidence_rules

Input: temporal quasi-functional dependency t
Output: low confidence association rules AR_{low_conf}
1: $AR_{low_conf} = \emptyset$
2: /* Create one group of rules for each antecedent */
3: $rule_groups = group\ by\ antecedent\ the\ rules\ in\ t.AssociationRules$. Create one group for each possible antecedent.
4: **for all** group g in $rule_groups$ **do**
5: $max_confidence = Max_{r \in g}(r.confidence)$
6: **for all** rule $r \in g$ **do**
7: **if** $r.confidence < max_confidence$ **then**
8: $AR_{low_conf} = AR_{low_conf} \cup r$
9: **end if**
10: **end for**
11: **end for**
12: **return** AR_{low}

Figura 8. Algoritmo 2.
Fuente: Bruno y Garza, 2010.

En su trabajo, los autores ensayan el método con datos de mercado que incluye información temporal de los datos históricos diarios de los precios de las acciones. Los experimentos se realizaron en una serie de conjuntos de datos generados por la variación del número de días y fijando uno a uno el número de acciones. Antes de extraer la reglas de asociación, todos los atributos continuos del conjunto de datos de tiempo se discretizan mediante distintos algoritmos.

Para analizar en detalle la escalabilidad de método TOD, se realizan experimentos variando tanto las características del número de datos (el número de registros y el número de atributos), como los valores de los parámetros de TOD (el tamaño de la ventana deslizante y la longitud de la pauta). En concreto se realiza el tiempo de ejecución cuando varía: 1) el número de registros; 2) el número de atributos; 3) el tamaño de la ventana deslizante y 4) la longitud de dependencia.

Con ello se demuestra la eficacia del método TOD y, en particular, el rendimiento de TOD al variar el grado de dependencia. Los resultados expuestos por los autores no son precisamente sintéticos, ya que van comprobando en cuatro apartados las variaciones indicadas en el párrafo anterior, exponiendo multitud de tablas y gráficas. Por ello, y para no alargar aún más el artículo, únicamente se enumeran las pruebas que realizan y la conclusión final.

Modelo de detección de outliers de forma global

Es una técnica para detectar *outliers* basada en una variante del algoritmo EM (algoritmo de esperanza-maximación citado en Yang *et al.*, 2009). El enfoque no hace ninguna suposición sobre la distribución de datos y es supervisado. Utiliza el *outlier factor*:

$$OF_k = \frac{1}{F_k} \quad (4)$$

Siendo F_k la suma de los productos de:

$$F_k = z_k(t_h) = \sum_{j=1}^n s_{kj} \pi_j(t_h) \quad (5)$$

Donde $s_{kj} \pi_j(t)$ representa como de fuerte es la influencia del punto x_k que es influido por el punto x_j siendo s_{kj} la fuerza de conexión y $\pi_j(t)$ la medición de la importancia de j .

El *outlier factor* que proponen se basa en las propiedades globales del conjunto de datos, lo que contrasta con la mayoría de los enfoques existentes, que lo hacen de forma local.

Para ilustrar las ventajas del algoritmo propuesto frente a otros, se tomó un conjunto de datos (Figura 9) que contiene 41 puntos espaciados en el cluster1, 104 puntos densos en el cluster2 y cuatro valores extremos A,B,C y D (marcados en rojo). Los métodos con los que se compara son COF (detalles en Tang, *et al.*, 2002), LOF (detalles en Breunig *et al.*, 2000) y LOCI (detalles en Papadimitriou *et al.*, 2003). Los métodos LOF y COF, no fueron capaces de detectar los *outliers* A y B, mientras que el tercer método (LOCI) si fue capaz de encontrar los cuatro puntos, al igual que el método propuesto.

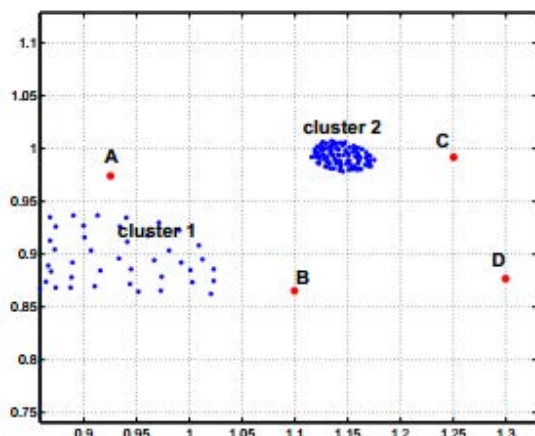


Figura 9. Primer grupo de datos para demostrar las ventajas del método. Los *outliers* son los puntos en rojo (A, B, C y D).
Fuente: Yang, *et al.*, 2009.

El segundo grupo de datos utilizado como ejemplo se obtuvo mediante la digitalización de unas imágenes de microbiología de una lámina de silicio. El objetivo es detectar y eliminar los *outliers* con el fin de obtener una aproximación paramétrica apropiada de la curva representada. La imagen contiene tres *outliers*, los puntos a, b y c representados en la Figura 10.

Para este segundo grupo de datos se aplicaron los métodos LOF, COF y LOCI, sin obtener los resultados esperados, los que si se obtienen con el método propuesto por los autores.

Los autores también emplearon para probar su método conjuntos de datos anteriormente utilizados por otros investigadores. Los resultados del método propuesto en comparación con otros métodos se muestran en la Figura 11. La mejora para la detección con los datos COIL 200 resulta obvia, pero todavía queda por debajo del 60% (Tabla 1). El principal problema parece ser el número de atributos. Pasa algo similar con el conjunto de datos Satimage. Las mejoras más significativas se obtienen en la detección de *outliers* de las mamografías y en las

azoteas (como se puede ver en la Figura 11 es mayor el área bajo la curva negra que se corresponde al método de estudio, lo que indica que hay mayor cantidad de verdaderos positivos que con los otros métodos comparados).

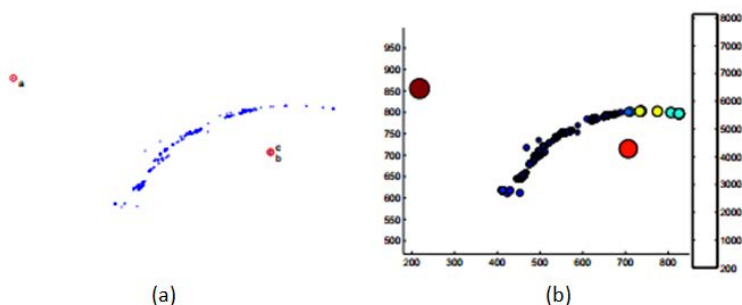


Figura 10. Segundo grupo de datos. (a) Los puntos a, b y c representan *outliers* (los autores no dan información de los ejes). (b) Los resultados obtenidos por el método propuesto, (*outliers* en tonos rojos).
Fuente: Yang *et al.*, 2009.

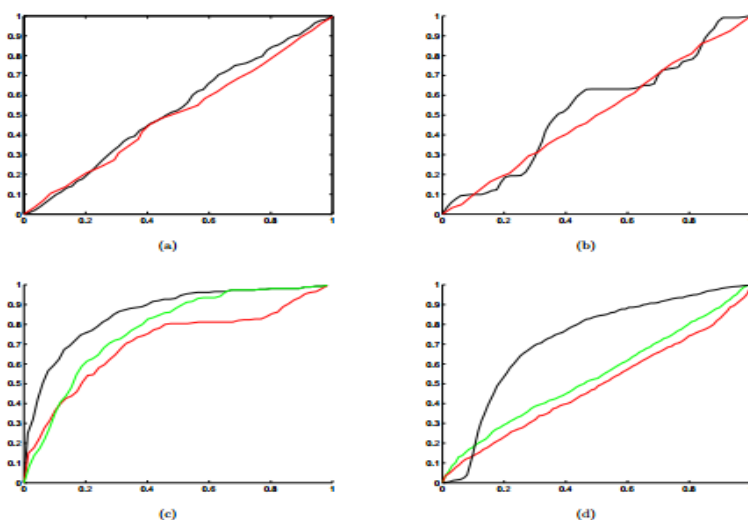


Figura 11. Curvas ROC (que representan los verdaderos positivos en ordenadas y los falsos positivos en abscisas) para la comparación de los resultados de los tres métodos. La curva negra representa el método propuesto, la curva verde representa el método COF y la roja el método LOF. Para las bases de datos (a) COIL 200, (b) Satimage, (c) mamografías (Mamography), y (d) azoteas (rooftop). Cuanto más alta va la curva, mayor cantidad de verdaderos positivos obtiene el método, por lo que sus resultados son mejores. Fuente: Yang *et al.*, 2009.

Tabla 1
Áreas debajo de las curvas (AUC) de la Figura 11
Cuanto mayor sea el área, más efectivo es el método, ya que hay mayor cantidad de verdaderos positivos

<i>Data sets</i>	<i>AUC</i>		
	<i>LOF</i>	<i>COF</i>	<i>Proposed Approach</i>
COIL200	0.499	0.505	0.529
Satimage	0.497	0.503	0.533
Mamography	0.710	0.780	0.862
Rooftop	0.538	0.498	0.722

Fuente: Yang *et al.*, 2009.

Como se ha visto, este método proporciona buenos resultados tanto para datos sintéticos como para datos usados por otros autores.

Algoritmos de detección de outliers por ponderación espacial

Los autores (Yufeng *et al.*, 2006) proponen dos algoritmos de detección de *outliers* que utilizan propiedades espaciales para representar el impacto de los vecinos. Se basan en que la mayoría de los algoritmos de detección de *outliers* espaciales se fundamentan únicamente en los atributos no espaciales del objeto estudiado y de sus vecinos. Pero en muchas aplicaciones, los objetos espaciales no pueden simplemente abstraerse como puntos aislados, ya que tienen otras propiedades como diferente ubicación, área, curvas de nivel, volumen, etc. que desempeñan papeles importantes a la hora de determinar el impacto espacial y no deben ser ignorados. Por ello proponen un método de detección de *outliers* que asigna diferentes pesos a los diferentes vecinos, determinando ese peso según las relaciones espaciales tales como la distancia.

El primer algoritmo propuesto (Algoritmo 1, Figura 12), llamado “enfoque del valor de *z* ponderado” tiene cuatro parámetros de entrada. *X* es un conjunto de *n* objetos que contienen atributos espaciales, tales como la ubicación, límites y área. Los atributos no espaciales están contenidos en *Y*. *k* es un valor fijo para cada objeto, que puede generalizarse sustituyéndolo por un *k* dinámico. Y *m* es el número de *outliers* solicitados, que generalmente no debe ser superior al 5 %.

El segundo algoritmo propuesto (algoritmo 2, Figura 12), el “algoritmo de diferencia promedio” es una variante del primer algoritmo. A diferencia él, se basa en la media ponderada de la diferencia absoluta entre *x_i* y cada uno de sus vecinos. La idea principal es comparar un objeto con cada uno de sus vecinos, uno por uno, en lugar de la obtención de la media de todos sus vecinos antes de la comparación. La razón radica en que el promedio simple de los vecinos ignora su varianza.

Algorithm 1 : Weighted z value approach

Input:
 X is a set of n spatial objects;
 Y is the set of attribute values for X ;
 k is the number of neighbors;
 m is the number of requested spatial outliers;

Output:
 O_s is a set of m outliers

```

for(i=1; i ≤ n ; i++) {
  /* calculate the neighbor hood relationship */
  NNk(xi) = GetNeighbors(X, xi);
  /* calculate the weighted average of all xi's neighbors */
  NbrAvg(xi) = 0;
  for each xj ∈ NNk(xi) {
    weight = getWeight(NNk(xi), xj)
    NbrAvg(xi) = NbrAvg(xi) + yj * weight
  }
  Diff(xi) = yi - NbrAvg(xi)
}
/* calculate the standardized Diff(xi) as the outlierness factor */
μ = getMean(Diff)
σ = getStd(Diff)
for ( each xi ∈ X ) {
  OF(xi) = |  $\frac{Diff(x_i)}{\sigma}$  |
}
Os = getTopMOutliers(OF, m)

```

Algorithm 2 : AvgDiff Algorithm

Input:
 X is a set of n spatial objects;
 Y is the set of attribute values for X ;
 k is the number of neighbors;
 m is a number of requested spatial outliers;

Output:
 O_s is the set of m outliers

```

for(i=1; i ≤ n ; i++) {
  /* calculate the neighbor hood relationship */
  NNk(xi) = GetNeighbors(X, xi);
  /* calculate the weighted average difference between xi and */
  /* its neighbors */
  AvgDiff(xi) = 0;
  for each xj ∈ NNk(xi) {
    diff = |yi - yj|
    weight = getWeight(NNk(xi), xj)
    AvgDiff(xi) = AvgDiff(xi) + diff * weight
  }
}
for ( each xi ∈ X ) {
  OF(xi) = AvgDiff(xi)
}
Os = getTopMOutliers(OF, m)

```

Figura 12. Algoritmos 1 o “enfoque del valor de z ponderado” y algoritmo 2 o “diferencia promedio”.

Fuente: Yufeng *et al.*, 2006.

Los experimentos se llevaron a cabo con datos reales sobre el virus del Nilo Occidental proporcionados por los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC). El conjunto de datos incluye el registro del número de casos de infección del virus en aves silvestre, mosquitos y los casos veterinarios a nivel de condado de Estados Unidos entre enero de 2002 y diciembre de 2003.

Tras aplicar los algoritmos se detectan 30 *outliers* principales, que representan alrededor del 1% del total de los 3 109 condados. Ambos algoritmos tienen resultados similares, identificando los mismos 22 condados en los 30 principales *outliers*. La variación de la clasificación (en los ocho condados no coincidentes en ambos algoritmos) es causada por los diferentes mecanismos utilizados para calcular la diferencia promedio de la zona.

Conclusiones

Los trabajos presentados confirman el intenso interés en el desarrollo de métodos de detección de *outliers*. Las principales características de estos métodos recientes son:

Modelo STARIMA: utilizado para detectar *outliers* en series de datos espacio-temporales. Una de las ventajas del modelo STARIMA es que su definición se basa en resultados empíricos. Además ofrece buenos resultados para observaciones a largo plazo. Una desventaja es que las distintas densidades pueden sesgar la desvia-

ción estándar y la media, por lo que el modelo puede clasificar como *outliers* objetos que no debería detectar. Esto hace que el modelo pueda ser poco robusto.

Método SWOD: utilizado para detectar *outliers* espacio-temporales. Según los resultados experimentales, es más preciso que otros métodos lo que deja ver la eficiencia de analizar conjuntamente el espacio y el tiempo para detectar *outliers*. Como desventajas, cabe reseñar que los autores no ofrecen los resultados en casos verdaderos al no conocer la realidad sobre del terreno de los datos utilizados, por lo que necesita ser evaluado para comprobar si sus resultados son realmente tan precisos como indican los autores.

ST-Outlier Detection Algorithm: utilizado para detectar *outliers* en grandes bases de datos espacio-temporales. Con el ejemplo propuesto por los autores, destaca el hecho de que detecta toda un área como *outlier*, y no una serie de puntos como suele pasar, por lo que este método necesita ser probado con más bases de datos para comprobar si los resultados son realmente tan buenos como indican los autores.

Método TOD (Temporal Outlier Detection): utilizado para detectar *outliers* mediante técnicas de minería de datos con aprendizaje no supervisado aplicado a datos temporales. Según lo indicado por los autores, es un método eficaz, siendo particularmente alto el rendimiento al variar el grado de dependencia, como muestran los autores en sus aplicaciones prácticas. El problema del modelo es que está formulado para datos temporales y no tienen en cuenta el espacio.

Modelo de detección de outliers de forma global: este método es utilizado para detectar outliers basándose en las propiedades globales del conjunto de datos. Proporciona buenos resultados para datos sintéticos y también para datos ampliamente usados por los investigadores en este campo, mejorando sus resultados.

Algoritmos de detección de outliers por ponderación espacial: utilizado para detectar outliers teniendo en cuenta la disposición espacial de los datos. Su idea principal es realizar un filtrado de los datos para extraer un conjunto de *outliers* candidatos a ser investigados por expertos, pudiéndolos ofrecer dando un orden de precedencia. Esta es una ventaja muy interesante a la hora de decidir qué datos se van a revisar y con qué preferencia.

Este trabajo pone de manifiesto que existe un creciente interés por el desarrollo de nuevo métodos de detección de *outliers*, que cada vez aportan mejores resultados cuando son aplicados sobre el tipo de datos para los que fueron desarrollados. Pero aún queda mucho por investigar, pues no existe un método óptimo de detección de *outliers*. Únicamente existen métodos que los detectan con mayor o menor efectividad.

Se estima indispensable continuar avanzando con el desarrollo de los métodos expuestos de cara a optimizar los resultados que proporcionan y facilitar su aplicación en los conjuntos de datos para los que resultan aptos.

Bibliografía

- Angiulli, F.; Pizzuti, C., (2002). "Fast outlier detection in high dimensional spaces", Proc. PKDD, pp. 15-26.
- Appice, A.; Guccione, P.; Malerba, D. and Ciampi, A., (2014). "Dealing with temporal and spatial correlations to classify outliers in geophysical data streams", Information Sciences, pp. 1-19.
- Ben-Gal, I., (2005). "Outlier detection", Data Mining and Knowledge Discovery Handbook. Springer US, pp. 131-146.
- Birant, B. and Kut, A., (2006). "Spatio-Temporal Outlier Detection in Large Databases", CTI. Journal of Computing and Information Technology, 14 (4), pp. 292-297.
- Breunig, M.; Kriegel, H.; Ng, R. and Sander, J., (2000). "LOF: Identifying density-based local outliers", Proc. SIGMOD, pp. 93-104.
- Bruno, G. and Garza, P., (2010). "TOD: Temporal outlier detection by using quasi-functional temporal dependencies", Data & Knowledge Engineering, 69 (6), June, pp. 619-639.
- Breunig, M.; Kriegel, H.; Ng, R. and Sander, J., (2000). "LOF: Identifying Density Based Local Outliers", The ACM SIGMOD Conference, pp. 27-39.
- Cheng, T.; Anbaroglu, B., (2009). "Spatio-Temporal Outlier Detection in Environmental Data", International Conference on Spatial Information Theory Aber Wrac'h, France, pp. 17-24.
- Hadi, A.; Rahmatullah, A. and Werner, M., (2009). Detection of outliers. WIREs Comp. Stat., 1(1), pp. 57-70.
- Keller, F.; Müller, E. and Böhm, K., (2012). "HiCS: high contrast subspaces for density-based outlier ranking", Proc. ICDE, pp. 83-92.
- Knorr, E.; Ng, R. and Tucanov, V., (2000). "Distancebased outliers: Algorithms and applications", VLDB J., 8 (3-4), pp. 237-253.
- Kriegel, H.; Kröger, P.; Schubert, E. and Zimek, A., (2009). "LoOP: local outlier probabilities", Proc. CIKM, pp. 1649-1652.
- Orair, G.; Teixeira, C.; Wang, Y.; Meira W. and Parthasarathy, S., (2010). "Distance-based outlier detection: Consolidation and renewed bearing", PVLDB, pp. 1469-1480.
- Papadimitriou, S.; Kitagawa, H.; Gibbons, P. and Faloutsos, C., (2003). LOCI: Fast Outlier Detection Using the Local Correlation Integral, ICDE, pp. 237-243.
- Pechenizkiy, M.; Bakker, J.; Zliobaite, I.; Ivannikov, A. and Kärkkäinen, T., (2009). "Online mass flow prediction in cfb boilers with explicit detection of sudden concept drift", ACM SIGKDD Explorations Newsletter, pp. 109-116.
- Ramaswamy, S.; Rastogi, S. and K. Shim, K., (2000). "Efficient algorithms for mining outliers from large data sets", Proc. SIGMOD, pp. 427-438.

- Ramanathan, N.; Balzano, L.; Burt, M.; Estrin, D.; Kohler, E.; Harmon, T.; Harvey, C.; Jay, J.; Rothenberg, S. and Srivastava, M., (2006). "Rapid Deployment with Confidence: Calibration and Fault Detection in Environmental Sensor Networks", Technical Report CENS, pp.119-125.
- Schuber, E.; Wojdanowski, R.; Zimek, A. and Kriegel, H.P., (2012). "On Evaluation of Outlier Rankings and Outlier Scores", 2012 SIAM International Conference on Data Mining, pp. 1047-1058.
- Sharma, A.B.; Golubchik, L. and Govindan, R. (2010). Sensor faults: detection methods and prevalence in real-world datasets, *ACM Trans. Sensor Netw.* 6, pp. 1-39.
- Tang, J.; Chen, Z.; Fu, A. and Cheung, D., (2002). "Enhancing Effectiveness of Outlier Detections for Low Density Patterns", *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 535-548.
- Vu N. and V. Gopalkrishnan, (2009). "Efficient pruning schemes for distance-based outlier detection", *Proc. ECML PKDD*, pp. 160-175.
- Vries, T.; Chawla, S. and Houle, M., (2010). "Finding local anomalies in very high dimensional space", *Proc. ICDM*, pp. 128-137.
- Yang, X.; Latecki, L.J.; Pokrajac, D. (2009). "Outlier Detection with Globally Optimal Exemplar-Based GMM", 2009 SIAM International Conference on Data Mining, pp. 145-154.
- Yao, Y.; Sharma, A.; Golubchik, L. and Govindan, R., (2010). "Online anomaly detection for sensor systems: a simple and efficient approach", *Performance Evaluation*, 67, pp. 1059-1075.
- Yufeng, K.; Chang-Tien, L. and Dechang, C., (2006). "Spatial Weighted Outlier Detection", *The 2006 SIAM International Conference on Data Mining*, pp. 614-618.
- Zhang, K.; Hutter, M. and Jin, H., (2009). "A new local distancebased outlier detection approach for scattered realworld data", *Proc. PAKDD*, pp. 813-822.

EPIC WebGIS-A partilha de conhecimento como ferramenta de integração da paisagem nas políticas de ordenamento do território

Manuela R. Magalhães*
Selma B. Pena*
Ana Müller**
Natália S. Cunha*
João F. Silva**
Andreia Saavedra Cardoso*
Leonor T. Barata**
Luísa Franco**

Recibido 6 de fevereiro de 2018; aceito 5 de abril de 2018

Resumo

O EPIC WebGIS é uma infra-estrutura de dados espaciais que fornece cartografia georreferenciada à escala nacional. Pode ser vista como uma ferramenta que permite a integração da Paisagem nas políticas de planeamento, oferecendo acesso imediato aos vários temas disponíveis sobre ecossistemas, estrutura ecológica e aptidão ecológica a diferentes actividades humanas. A informação disponibilizada por esta plataforma abrange vários subsistemas de paisagem, designadamente, geologia / litologia, solo, água, vegetação, clima e morfologia do terreno, considerados essenciais para o planeamento e gestão dos ecossistemas e recursos naturais. Também integra vários temas relativos a um Plano Potencial da Paisagem para Portugal, considerando a aptidão ecológica para o estabelecimento de diferentes atividades

* Arquitectos Paisagistas Investigadores, PhD; **Arquitectos Paisagistas Investigadores: da Unidade de Investigação Linking Landscape Environment Agriculture and Food (LEAF) do Instituto Superior de Agronomia (ISA) da Universidade de Lisboa (UL). Tapada da Ajuda 1349-017 Lisboa, e-mail: mmagalha@isa.ulisboa.pt, selmapena@isa.ulisboa.pt, anamuller@isa.ulisboa.pt, natcunha@isa.ulisboa.pt, joaofsilva@isa.ulisboa.pt, andreiasaavedra@gmail.com, leonortb@isa.ulisboa.pt, luisafranco@isa.ulisboa.pt.

humanas, tais como: conservação da natureza, agricultura e horticultura, silvicultura, e áreas urbanas.

Os dados disponíveis constituem o resultado do trabalho realizado por uma equipa transdisciplinar em dois projetos: “Estrutura Ecológica Nacional – uma proposta de delimitação e regulação” (PTDC/AUR-URB/102578/2008) e o projeto “Ordenamento Potencial da Paisagem de Base Ecológica. Aplicação a Portugal” (PTDC/AUR-URB/119340/2010), ambos financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT). Atualmente, o EPIC WebGIS está organizado em 16 temas principais e possui 111 mapas disponíveis para download.

O EPIC WebGIS representa um contributo significativo para o ordenamento do território através da identificação e quantificação de temas estratégicos e na implementação de políticas de desenvolvimento, sob uma perspectiva de desenvolvimento sustentável. O EPIC WebGIS foi criado para servir de referência técnica e científica em todos os níveis de planeamento e decisões políticas com ele relacionadas. Esta plataforma é gratuita e aberta a novos dados, contribuindo para a implementação de políticas de Acesso Aberto.

O objetivo deste artigo é o de apresentar o EPIC WebGIS, as informações estatísticas sobre os usuários e discutir de que modo a cooperação pode melhorar a generalização e a aceitação pela sociedade de uma política de planeamento ecologicamente correta, com benefícios sociais e económicos amplamente reconhecidos. O uso da cartografia disponível como ferramenta auxiliar no ordenamento do território contribuirá para uma gestão da paisagem mais sustentável.

Palavras-chave: *aptidão ecológica, estrutura ecológica, políticas públicas, ordenamento do território.*

Resumen

La EPIC WebGIS es una infraestructura de datos espaciales que proporciona cartografía georreferenciada a escala nacional. Puede ser vista como una herramienta que permite la integración del Paisaje en las políticas de planificación, ofreciendo acceso inmediato a los diversos temas sobre ecosistemas, estructura ecológica y aptitud ecológica a diferentes actividades humanas. La información disponible en esta plataforma abarca varios subsistemas de paisaje, en particular, geología/litología, suelo, agua, vegetación, clima y morfología del terreno, considerados esenciales para la planificación y gestión de los ecosistemas y recursos naturales. También integra varios temas relativos al Plan Potencial del Paisaje para Portugal, considerando la aptitud la ecológica para el establecimiento de diversas actividades humanas, tales como: conservación de la naturaleza, agricultura y horticultura, silvicultura y áreas urbanas.

Los datos disponibles constituyen el resultado del trabajo realizado por un equipo pluridisciplinar en dos proyectos: “Estructura Ecológica Nacional —una pro-

puesta de delimitación y regulación” (PTDC/AUR-URB/102578/2008) y el proyecto “Ordenación Potencial del Paisaje de Base Ecológico. Aplicación a Portugal” (PTDC/AUR-URB/119340/2010), ambos financiados por la Fundación para la Ciencia y la Tecnología (FCT). Actualmente, el EPIC WebGIS está organizado en 16 temas principales y tiene 111 mapas disponibles para descargar.

La EPIC WebGIS representa una contribución significativa al ordenamiento territorial a través de la identificación y cuantificación de temas estratégicos y la aplicación de políticas de desarrollo desde una perspectiva de desarrollo sostenible. La WebGIS EPIC fue creada para servir de referencia técnica y científica en todos los niveles de planificación y decisiones políticas. Esta plataforma es gratuita y abierta a nuevos datos, contribuyendo a la implementación de políticas de Acceso Abierto.

El objetivo de este artículo es presentar la EPIC WebGIS, información estadística sobre los usuarios y discutir de qué modo la cooperación puede mejorar la generalización y la aceptación por la sociedad de una política de planificación ecológicamente correcta, con beneficios sociales y económicos ampliamente reconocidos. El uso de la cartografía disponible como herramienta auxiliar en la ordenación del territorio contribuirá a una gestión del paisaje más sostenible.

Palabras claves: *aptitud ecológica, estructura ecológica, políticas públicas, ordenamiento del territorio.*

Abstract

The EPIC WebGIS is a spatial data infrastructure, which provides georeferenced cartography at a national scale. It can be seen as a tool to integrate landscape into planning policies, offering immediate access to several available themes concerning ecosystems, ecological network, and ecological land suitability. The information on this platform covers landscape sub-systems such as geology/lithology, soil, water, vegetation, climate and land morphology, considered essential to the ecosystem and natural resources management. It also integrates several themes regarding a Potential Land Use Plan for Portugal, taking into account the ecological land suitability for the establishment of different activities, such as nature conservation, agriculture and horticulture, forestry, leisure and recreational facilities and urban areas.

The available data constitutes the outcome of the work carried out by a large team with different scientific backgrounds under two projects: project PTDC/AUR-URB/102578/2008 “National Ecological Network - a proposal of delimitation and regulation” and project PTDC/AUR-URB/119340/2010 “Potential Land-Use Ecological Plan. Application to Portugal”, both financed by the Foundation for Science and Technology (FCT). Currently, the EPIC WebGIS is organized in 16 major themes and has 111 maps available for download.

The EPIC WebGIS gives a significant contribution to spatial planning through the identification and quantification of strategic topics and in the implementation of development policies and strategies, from a sustainable development perspective. The EPIC WebGIS was created to work as a technical and scientific reference at all levels of Planning and related political decision-making. This platform is free of charge and open to new data, contributing to the implementation of Open Access policies.

Our goal is to present EPIC WebGIS, statistical information about the users and discuss how cooperation can enhance the generalization and acceptance by society of an ecologically-based planning policy, which will bring already recognized social and economic benefits. The use of the available cartography as an auxiliary tool in spatial planning will contribute to a more sustainable landscape management.

Key words: *ecological land suitability, ecological network, public policies, spatial planning.*

Introdução

O ordenamento sustentável do território implica que as políticas públicas considerem a preservação das estruturas fundamentais da paisagem. Estas estruturas integram um sistema complexo e dinâmico constituído por uma rede de subsistemas ecológicos e culturais. Na abordagem ecológica ao ordenamento do território, as estruturas que asseguram o funcionamento dos vários subsistemas (ar, água, solo, vegetação e fauna) podem ser espacializadas na Estrutura Ecológica (Magalhães *et al.*, 2007).

A Estrutura Ecológica é contínua e composta por várias componentes dos ecossistemas, cuja conservação é essencial para a manutenção dos recursos naturais (Magalhães, 2013). Esta tem de ser delimitada nas várias escalas de planeamento (Decreto-Lei n.º 80/2015) e permite encontrar o equilíbrio entre a protecção dos recursos naturais e a sustentabilidade das actividades humanas.

No Ordenamento do Território considera-se que a sustentabilidade ecológica da localização das actividades humanas depende da harmonização entre a capacidade ecológica do território para as receber e as características e exigências de cada uma dessas actividades, em matéria também de localização. Esta harmonização é designada por Aptidão. Se essas exigências forem de base ecológica designa-se aptidão ecológica do território, que por sua vez determina um ordenamento do território de base ecológica (Magalhães, 2016).

Com base nestes dois conceitos – estrutura ecológica e aptidão ecológica – foram desenvolvidos dois projectos de investigação de âmbito nacional, financiados pela FCT: “Estrutura Ecológica Nacional – uma proposta de delimitação e regulamentação” (PTDC/AUR-URB/102578/2008) e “Ordenamento Potencial da Paisagem de Base Ecológica. Aplicação a Portugal” (PTDC/AUR-URB/119340/2010).

O desenvolvimento do primeiro projecto (PTDC/AUR-URB/102578/2008) implicou um trabalho sistemático de reunião, processamento e criação de bases cartográficas para a delimitação da Estrutura Ecológica Nacional e dos seus sub-sistemas. Toda a cartografia produzida foi reunida e organizada numa base de dados cartográficos georreferenciados para Portugal continental. Foi com o desenvolvimento deste primeiro projecto que foi criada em 2013 a primeira versão do EPIC WebGIS que disponibilizou toda a cartografia disponível, gratuitamente, em formato vectorial e matricial. Este WebGIS constitui uma plataforma dinâmica na forma de uma infra-estrutura nacional de dados espaciais que permite um acesso imediato aos vários temas disponíveis, com recurso a algumas ferramentas de manipulação e visualização dos dados, promovendo a partilha de conhecimento e facilitando a utilização de bases cartográficas fundamentais ao Ordenamento do Território.

O desenvolvimento do segundo projecto de investigação (PTDC/AUR-URB/119340/2010) permitiu enriquecer a plataforma com mais dados geográficos. É de salientar a disponibilização de informação sobre a Aptidão Ecológica às Espécies Arbóreas, às Culturas Agrícolas e à Edificação, informação essa que permitirá aos agentes promotores de alterações ao nível do uso do solo, seleccionar as culturas, ou as espécies arbóreas a introduzir ou a manter, saber onde há que salvaguardar os recursos naturais ou as áreas ecologicamente mais sensíveis ou ainda, se for caso disso, onde será melhor a localização de edificação, seja ela destinada a habitação, a equipamentos ou instalações industriais.

A versão 2.0 do EPIC WebGIS foi lançada no início de 2017, com a actualização do design gráfico da plataforma, inclusão de novos dados e metadados elaborados de acordo com a directiva europeia INSPIRE.

O EPIC WebGIS constitui uma ferramenta de grande utilidade, no sentido de ajudar a colmatar as deficiências na disponibilização de informação espacial de âmbito territorial, contribuir para a elaboração de estudos e Planos de Ordenamento do Território e servir de apoio à decisão política no domínio do desenvolvimento sustentável. Este trabalho pretende apresentar a plataforma EPIC WebGIS, caracterizar estatisticamente os utilizadores da plataforma, bem como apresentar aplicações desta plataforma em matéria de ordenamento do Território.

A plataforma EPIC WebGIS

A primeira versão do EPIC foi apresentada ao público em 2013 na conferência internacional sobre Estrutura Ecológica Nacional que decorreu em Lisboa. Esta plataforma foi apresentada como uma infra-estrutura de dados geo-espaciais com dados temáticos sobre a paisagem, relacionados com os diferentes sistemas ecológicos: geologia/litologia, morfologia do terreno, solo, água, vegetação e áreas de conservação da natureza. Em 2017, foi lançada a versão 2.0 com a inclusão de novos dados cartográficos resultantes do projecto de investigação “Ordenamento Po-

tencial da Paisagem de Base Ecológica. Aplicação a Portugal” (PTDC/AUR-URB/119340/2010). Nesta versão houve renovação do design gráfico da plataforma de interface e novas funcionalidades de manipulação de imagem (Figura 1).

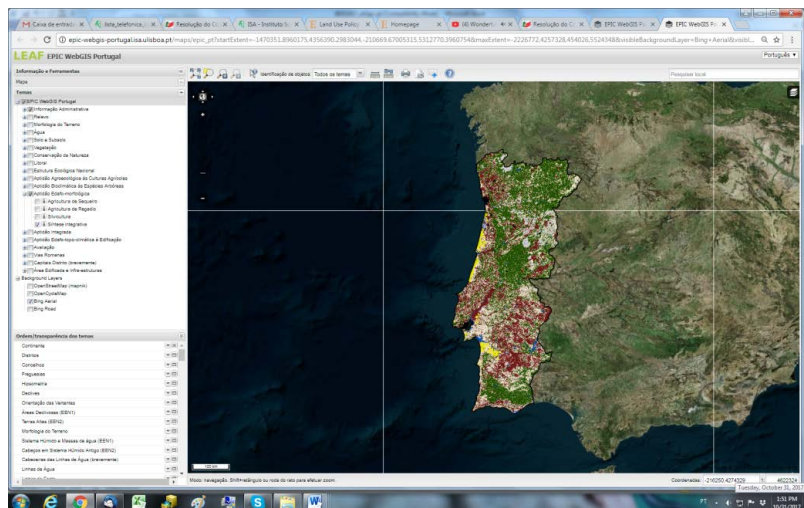


Figura 1. Plataforma de interface do EPIC WebGIS Portugal.

A plataforma permite a visualização e *download* da informação em formato vectorial e matricial, contribuindo para a implementação da Convenção Europeia da Paisagem e das Políticas Europeias de Dados Abertos INSPIRE (Directive 2007/2/EC). De acordo com a recomendação CM/Rec (2008) 3 (Council of Europe, 2008) sobre as directrizes para a implementação da Convenção Europeia da Paisagem, adoptada em 6 de Fevereiro de 2008, “devem ser tomadas medidas para incentivar o desenvolvimento e a disponibilidade de bases de dados sobre a paisagem”.

A cartografia disponível e as metodologias utilizadas podem ser vistas como uma ferramenta auxiliar para os utilizadores, permitindo também que os técnicos e as instituições a utilizem como referência técnica e científica para várias actividades, tais como: educação e I&D; planos, programas e políticas de uso da terra; gestão e produção de agricultura e silvicultura; conservação da natureza e gestão de recursos naturais; turismo, etc.

A inovação associada ao EPIC WebGIS situa-se a vários níveis: i) na metodologia integrativa de ordenamento do território proposta que implica a escolha de determinadas componentes da Paisagem, resultantes da espacialização dos processos relacionados com os vários factores ecológicos (ar, água, solo, vegetação e fauna), da sua definição e respectivos critérios de delimitação. Muitas destas componentes não estavam cartografadas à escala nacional e algumas delas estavam delimitadas à

escala municipal com critérios diferentes e portanto não homogeneizados; ii) na integração de modelos sectoriais de determinação da aptidão ecológica a quatro grandes grupos de usos: culturas agrícolas, espécies arbóreas e pastagens, conservação da natureza e edificação; iii) na integração dos dados anteriormente referidos com vista à formulação de uma proposta de uso potencial do solo que responda à sustentabilidade da Paisagem e simultaneamente incorpore a realidade da ocupação actual do País numa perspectiva de equilíbrio entre os grandes grupos de usos; iv) na disponibilização de cartografia original a nível nacional, produzida com padrões homogêneos e com um nível de precisão que permite o seu uso da escala nacional à municipal.

Com esta plataforma pretende-se mitigar as dificuldades actualmente sentidas no acesso a dados cartográficos dispersos entre as instituições públicas portuguesas, ao mesmo tempo que se apoia a formulação de políticas e o desenvolvimento sustentável (Figura 2). Actualmente, a plataforma está organizada em 16 grandes temas e apresenta 111 mapas disponíveis para *download*, prevendo-se a sua expansão, com resultados obtidos em outros projectos de investigação e também com cartografia produzida por outras instituições. Esta última hipótese permitiria a visualização e sobreposição da informação, numa mesma plataforma, em todo o País.

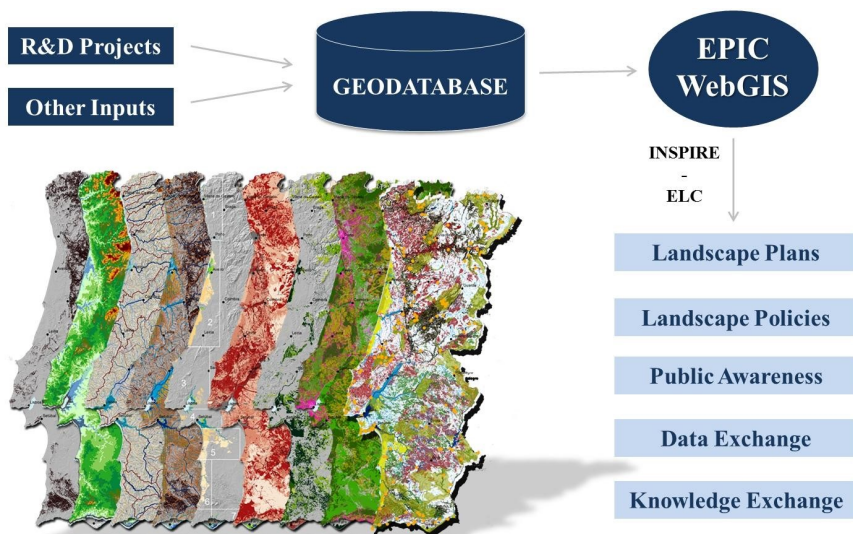


Figura 2. Estrutura do EPIC WebGIS.

Por outro lado, o nível de precisão da cartografia disponível depende da qualidade das suas bases, bem como das escalas de representação. Por esta razão, será sempre possível aumentar a qualidade dos mapas disponibilizados, dependendo apenas das atualizações da cartografia de base. Um exemplo significativo desta

questão é a cartografia existente do solo, elaborada em diferentes momentos, com diferentes critérios, que seria necessário reformular para todo o país.

Os utilizadores da plataforma EPIC WebGIS

A utilização da ferramenta Google Analytics permitiu monitorizar e reunir informação relevante acerca da evolução do acesso à plataforma desde o seu lançamento, em Novembro de 2013, até ao presente (30.10.2017). A localização geográfica dos utilizadores (Figura 3 e 4), o número e recorrência de visitas (Figura 5) e o sector de actividade a que pertencem (Figura 6), constituem exemplos de indicadores que permitem, não só compreender a relevância temática da plataforma, mas também o seu desenvolvimento.

A plataforma EPIC WebGIS tem, à data de 30 de Outubro de 2017, 60182 visualizações de 16908 utilizadores, dos quais 285 efectuaram descarregamento de dados geográficos. Do total de visualizações, 50142 foram de utilizadores nacionais e 10040 são utilizadores internacionais. Além disso, a análise estatística destes utilizadores mostra que 72 % consultaram a plataforma pelo menos mais uma vez.

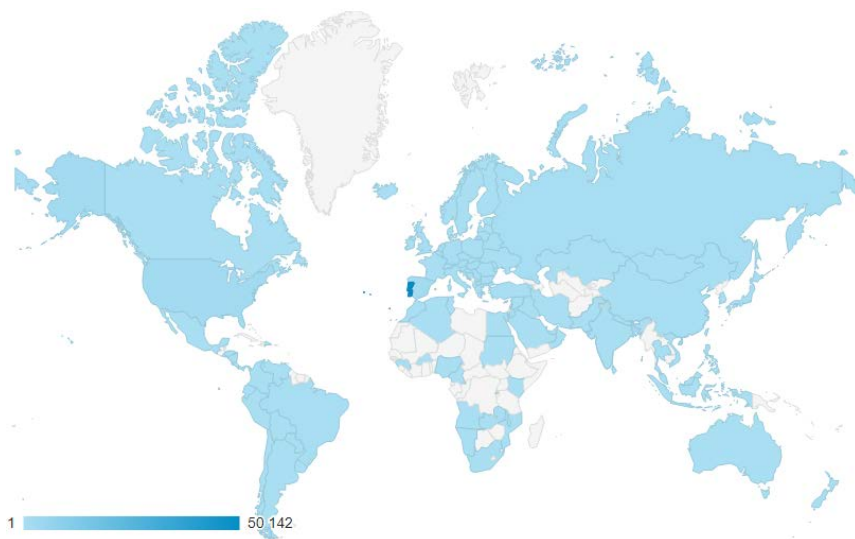


Figura 3. Distribuição geográfica dos utilizadores do EPIC WebGIS desde o lançamento (2013) até à actualidade (30 de outubro de 2017). Informação disponível através de Google Analytics.

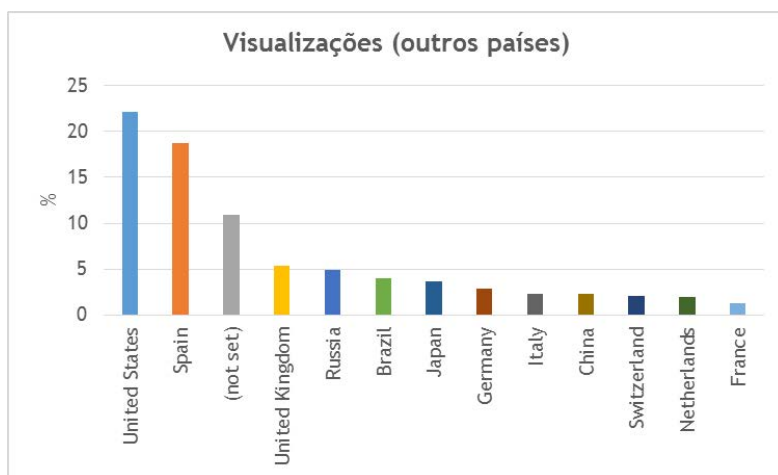


Figura 4. Ranking internacional de visualizações do EPIC WebGIS. Informação disponível através de Google Analytics.



Figura 5. Percentagem de recorrências de visitas. Informação disponível através de Google Analytics.

Os sectores de actividade associados aos utilizadores (285) registados na plataforma, desde o início de 2017, referem-se às áreas de Arquitectura e Urbanismo (21%), Agricultura/Floresta e Pesca (16%), Educação/Ensino (18%), Investigação e Desenvolvimento (10%), Ambiente (10%), Administração Pública (10%), Ordenamento do Território (5%) Telecomunicações (1%) e Outros usos (8%).



Figura 6. Sector de actividade dos utilizadores registados na plataforma EPIC WebGIS desde Janeiro de 2017.

Aplicações do EPIC WebGIS em Portugal

O EPIC WebGIS permite apoiar a investigação aplicada à Paisagem e ao Ordenamento do Território, bem como apoiar o trabalho técnico das instituições públicas e privadas. De facto, os técnicos ou entidades envolvidos nos processos de Ordenamento do Território, bem como as actividades directamente relacionadas com a Paisagem, seja no âmbito do ensino, investigação, gestão, produção agro-florestal ou conservação da natureza, dependem significativamente de informação espacial georreferenciada que nem sempre está acessível ou apresenta a qualidade desejada.

No caso dos incentivos administrados pelo Estado, que actualmente são atribuídos com base nas Freguesias, ou simplesmente sem um suporte espacial, poderão passar a ser atribuídos mediante a aptidão à actividade considerada, ou seja, com muito maior rigor na sua adequação ecológica. Esta informação é crucial para a elaboração dos Planos de Ordenamento do Território, desde planos regionais, como os Planos Regionais de Ordenamento do Território (PROTs) ou Florestais (PROFs), até à escala 1/25000, nomeadamente os Planos Directores Municipais (PDMs). Os Planos elaborados a escalas de maior detalhe, como os Planos de Urbanização, os Planos de Pormenor, os Planos de Gestão Florestal, etc, poderão partir da cartografia disponibilizada e complementá-la com informação a escalas mais finas.

A análise dos utilizadores do EPIC WebGIS permite identificar as áreas de utilização da informação utilizada. Destacam-se os seguintes estudos, de âmbito nacional e internacional:

- Avaliação do risco de inundação;
- Investigação em impactes das alterações climáticas;
- Modelação das alterações do uso do solo;
- Pesquisa em ecologia de anfíbios e peixes;
- Suporte para levantamento topográfico;
- Análise biofísica no âmbito do planeamento e gestão florestal;
- Implementação de design de permacultura;
- Revisão de PDM;
- Investigar propriedades para o desenvolvimento da agricultura biológica;
- Estudar a inclusão da apicultura em áreas urbanas;
- Pesquisa nos campos de Ecologia da Paisagem e Planeamento Ecológico, Estudos Urbanos;
- Risco e perigosidade de incêndio Florestal;
- Consultoria em Arquitectura Paisagista;
- Águas e resíduos;
- Estudos de ordenamento à escala Nacional/Regional;
- Viajar em Portugal;
- Energias renováveis;
- Desenvolvimento de cartografia aplicada a projectos de arqueologia;
- Projectos agrícolas, florestais e de desenvolvimento sustentável;
- Estudo do carácter cultural das infra-estruturas verdes;
- Projectos de investigação – modelos de vulnerabilidade no sector agro-florestal;
- Plano de adaptação às alterações climáticas;
- Estudo de Paisagem do Parque Natural de Sintra Cascais;
- Estudos no âmbito das atribuições da DGT;
- Laboratório Colaborativo de Pedrogão Grande;
- Exploração Florestal e produção de pellets;
- Apoio na georreferenciação de redes de gás;
- Análise geoespacial da produtividade agrícola para a produção sustentável de alimentos sob mudanças climáticas;
- Monitorização de culturas;
- Planeamento de Paisagem e Permacultura de Retenção de Água.

O EPIC WebGIS tem sido aplicado na unidade de investigação LEAF no âmbito de projectos de investigação, teses de doutoramento e investigação aplicada. Destacam-se as seguintes aplicações desenvolvidas na unidade de I&D LEAF:

- Estrutura Ecológica Nacional (Figura 7);
- Aptidão ecológica a diferentes actividades (agricultura, floresta) (Figura 8);
- Avaliação do uso actual do solo (COS 2007) em comparação com a síntese integrativa das aptidões edafo-morfológicas (Figura 9);
- Aptidão ecológica à edificação em diferentes capitais de distrito (Figura 10);

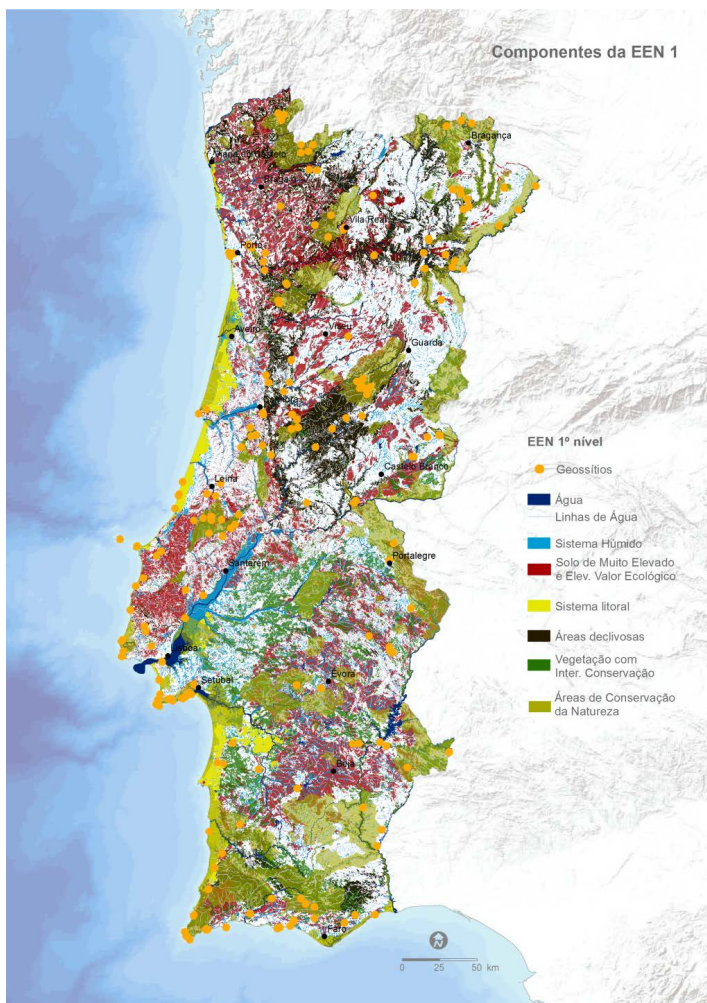


Figura 7. Proposta de Estrutura Ecológica Nacional.
Fonte: Magalhães, 2013; Cunha, 2017).

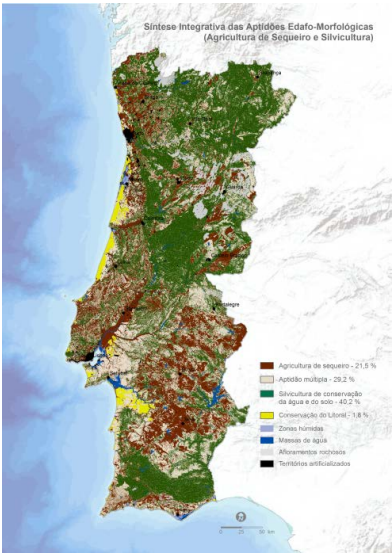


Figura 8. Síntese integrativa das aptidões edafo-morfológicas
Fonte: Magalhães, 2016.



Figura 9. Comparação entre a síntese integrativa e a COS 2007
Fonte: Magalhães, 2016.

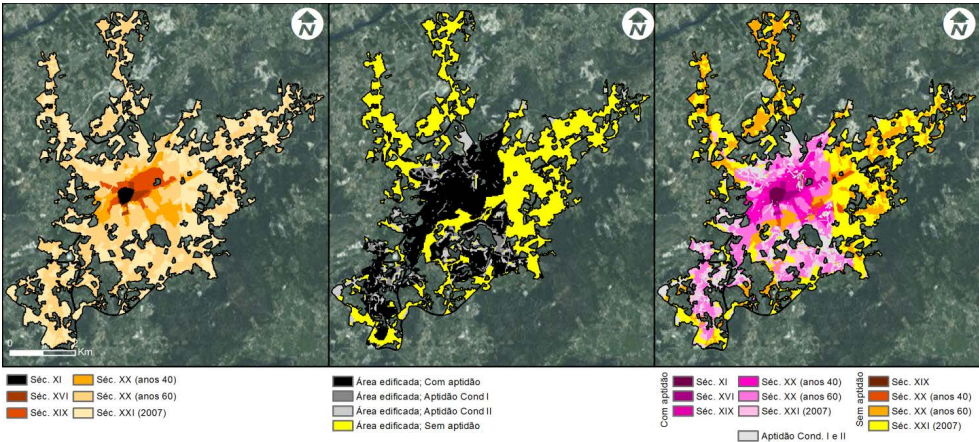


Figura 10. Aptidão ecológica à edificação em diferentes capitais de distrito. Braga
Fonte: Magalhães, 2016.

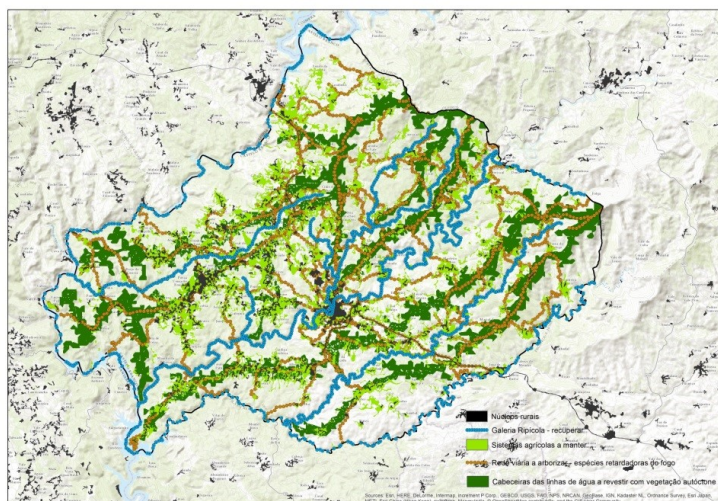


Figura 11. Proposta de Planos de Ordenamento do Território na Prevenção dos Incêndios Rurais – caso do município da Sertã, estrutura de primeiro nível (caso de estudo apresentado no Laboratório Colaborativo da Bacia do Zêzere, em 2017).

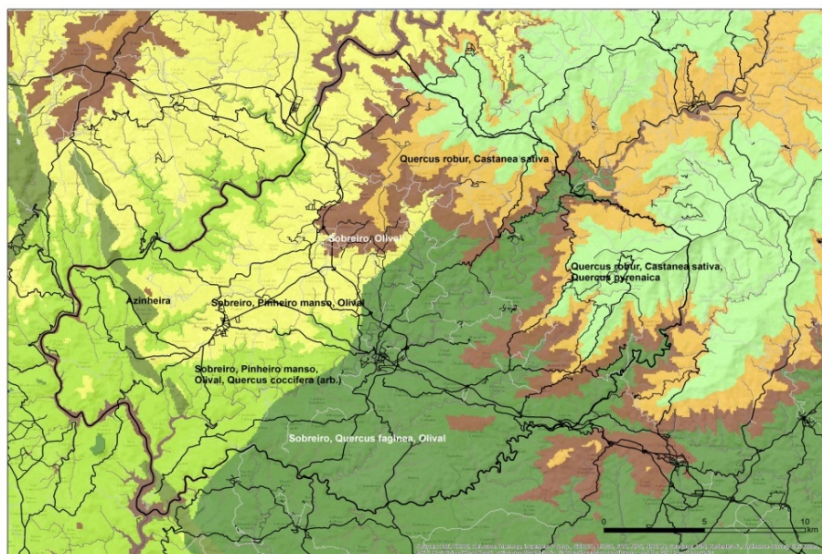


Figura 12. Vegetação natural potencial para o município da Sertã (caso de estudo apresentado no Laboratório Colaborativo da Bacia do Zêzere, em 2017).

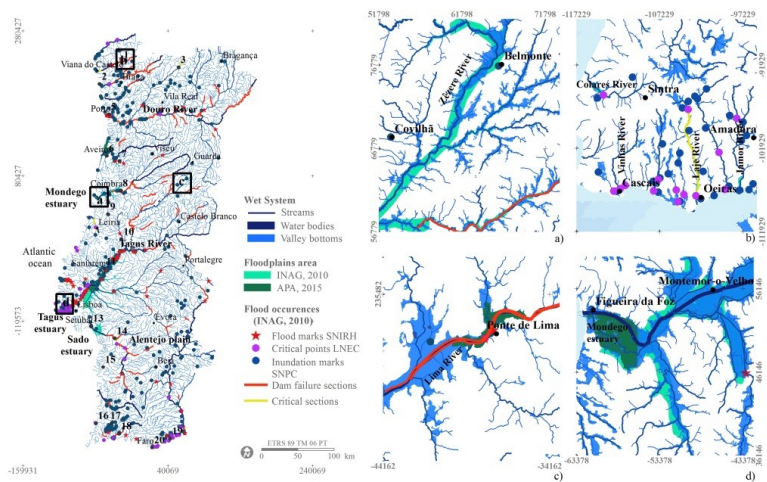


Figura 13. Análise de Situação de Risco (cheias).
Fonte: Cunha *et al.* 2017.



Figura 14. Contribuição para a delimitação da Reserva Ecológica Nacional (REN).
Usos potenciais na REN.
Fonte: Pena, 2016; Pena *et al.*, (2018).

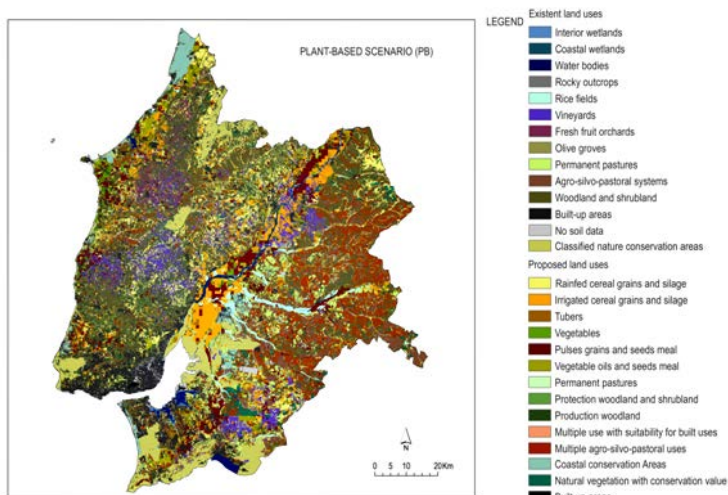


Figura 15. Plano da Bacia Alimentar Área Metropolitana de Lisboa e Zona Oeste: cenário de dieta baseado em plantas.

Fonte: Saavedra Cardoso, 2017; Saavedra Cardoso *et al.*, 2017.

Conclusões

O desenvolvimento da prática profissional em ordenamento do território, sob uma perspectiva de base ecológica, requer a existência de cartografia do mesmo tipo, dispersa por várias instituições e muita dela inexistente, tendo de ser produzida. Este processo de procura e produção de cartografia de base, que constitui normalmente a primeira fase de qualquer projecto de ordenamento do território implica frequentemente uma concentração desadequada de recursos humanos, económicos e energéticos que poderia direccionar-se para o melhoramento da qualidade dos projectos e na incorporação de melhor conhecimento científico de base.

A plataforma EPIC WebGIS foi concebida com o objectivo de reduzir esta primeira fase dos projectos fornecendo a informação que, embora direccionada para o Ordenamento do Território, pode ser considerada “de base” para os estudos de ordem espacial.

Por outro lado, a cartografia produzida corresponde já a um avanço quanto à determinação da Aptidão ecológica aos usos agro-silvo-pastoris, à conservação da natureza e à edificação.

No que respeita aos modelos de ocupação potencial do território propostos permitem, desde já, desencadear um debate sobre uma ocupação sustentável, e as melhores práticas de gestão. Os incêndios rurais de 2017 vieram, uma vez mais, chamar

a atenção para a necessidade de tomada de decisões de ordenamento que sejam compatíveis com a capacidade ecológica da Paisagem e com a capacidade de iniciativa dos agentes protagonizadores da alteração dos usos da Paisagem. Ao Estado cabe a iniciativa de promover este debate e garantir que os interesses económicos de grupos restritos não sobrelevam o interesse público, incluindo o da sobrevivência dos cidadãos que ele deve proteger.

A plataforma EPIC WebGIS constitui pois uma ferramenta que permite, desde já, partilhar conhecimento, produzir novo conhecimento e suportar cientificamente decisões privadas e públicas que permitam melhorar as políticas de ordenamento do território e, com isso, a economia do País e a vida das pessoas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Engenheiro Jorge Palma (IST/UL), pelo apoio técnico prestado na construção da plataforma EPIC WebGIS; ao Arquitecto Paisagista Manuel Leitão pelo apoio prestado na preparação dos dados na primeira versão da plataforma; e à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), pelo apoio financeiro nos projectos de investigação PTDC/AUR-URB/102578/2008 e PTDC/AUR-URB/119340/2010.

Este trabalho foi desenvolvido na unidade de I&D LEAF (Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food Research Centre) do Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa (UID/AGR/04129/2013), financiado pela FCT através de fundos nacionais.

Bibliografia

- Council of Europe, (2008). *Recommendation CM/Rec(2008)3 of the Committee of Ministers to member states on the guidelines for the implementation of the European Landscape Convention*. Committee of Ministers, Brussels.
- Cunha, N.S., (2017). “The National Ecological Network and a Land Morphology Model. An application to Portugal” Tese de Doutoramento em Arquitectura Paisagista. Disponível em <<http://hdl.handle.net/10400.5/14947>> Instituto Superior de Agronomia.
- Cunha N.S., Magalhães, M.R., Domingos, T., Abreu, M.M. and Küpfer, C., (2017). “The land morphology approach to flood risk mapping: An application to Portugal”, *Journal of Environmental Management*, vol. 193, pp. 172-187, <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.077>>.
- Decreto-Lei n.º80/2015. “Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial”, *Diário da República* n.º 93/2015, Série I de 2015-05-14.

- Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE).
- Magalhães M.R.; Abreu, M.M.; Cortez, N. and Lousã, M., (2007). “Estrutura Ecológica da Paisagem, conceitos e delimitação – escalas regional e municipal”, ISAPress, Lisboa.
- Magalhães M.R. (coordenação geral), (2013). “Estrutura Ecológica Nacional - uma proposta de delimitação e regulamentação”, ISAPress, Lisboa.
- Magalhães M.R. (coordenação geral), (2016). “Ordem Ecológica e Desenvolvimento. O Futuro do Território Português”, ISAPress, Lisboa.
- Projecto FCT PTDC/AUR-URB/102578/2008, “Estrutura Ecológica Nacional – uma proposta de delimitação e regulamentação”, coordenado por Magalhães M. R. ISA/ULISBOA.
- Projecto FCT PTDC/AUR-URB/119340/2010, “Ordenamento Potencial da Paisagem de Base Ecológica. Aplicação a Portugal” coordenado por Magalhães M. R. ISA/ULISBOA.
- Pena, S.B., (2016). “Reserva Ecológica Nacional - Delimitação a Nível Nacional”, Tese de Doutoramento em Arquitectura Paisagista, Instituto Superior de Agronomia. Disponível em <<http://hdl.handle.net/10400.5/13499>>.
- Pena, S.B.; Magalhães, M.M. and Abreu, M.M., (2018). “Mapping headwater systems using a HS-GIS model. An application to landscape structure and land use planning in Portugal”, *Land Use Policy*, vol. 71, pp. 543-553, <<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.009>>.
- Saavedra Cardoso, A., (2017). “Planeamento Agroalimentar e Agro-urbanismo nas Regiões Metropolitanas”. Tese de Doutoramento em Arquitectura Paisagista, Instituto Superior de Agronomia. Disponível em <<http://hdl.handle.net/10400.5/14960>>.
- Saavedra Cardoso, A.; Domingos, T.; Magalhães, M.R.; Melo-Abreu, J. and Palma, J., (2017). “Mapping the Lisbon Potential Foodshed in Ribatejo e Oeste: A Suitability and Yield Model for Assessing the Potential for Localized Food Production”, *Sustainability*, 9(11), <<https://doi.org/10.3390/su9112003>>.

Revista Cartográfica

Definición de la Revista

La *Revista Cartográfica* (RCA) del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) es una publicación semestral; incluye trabajos inéditos del estado del arte, revisión de la literatura científica, resultados de estudios e investigaciones sobre las actividades relacionadas con el campo general de la Cartografía, Geodesia y/o Información Geoespacial.

Sistema de arbitraje

La *Revista Cartográfica* cuenta con un grupo de evaluadores especialistas de notorio reconocimiento. El proceso de selección de cada artículo implica la valoración de dos o más expertos en el tema, sin identificación de la autoría, con el fin de garantizar un resultado exento de cualquier influencia. Después de la evaluación, los artículos se remiten al Comité Editorial quien lleva a cabo la selección de ellos para ser publicados.

Por otra parte, compete a la editora responder dudas y resolver cualquier situación que se suscite, así como la decisión final acerca del contenido de cada número de la *Revista Cartográfica*.

Instructivo para autores

Los lineamientos generales para presentar trabajos para su publicación, son los siguientes:

- Todo artículo sometido debe ser **original**, y no publicado, ni considerado para publicación en otra revista.
- La **extensión máxima** de los artículos debe ser de 25 páginas formadas y las llamadas de nota de 5 páginas.
- Los artículos podrán ser escritos en cualquiera de los cuatro idiomas oficiales del Instituto: **español, inglés, francés y portugués**. En el caso de artículos escritos en inglés, francés o portugués, evitar corte de palabras.
- El nombre de los autores, la institución a la que pertenecen, sus direcciones postal y electrónica se incluirán a pie de página al inicio del artículo.
- Cada artículo debe ser precedido por un **resumen** corto (máximo 110 palabras), el cual debe permitir al lector tener una idea de la importancia y campo que abarca el artículo, debe presentarse al menos en español e inglés.
- Inmediatamente después del resumen, se escribirán no más de seis **palabras clave** representativas del contenido general del artículo y características de la terminología usada dentro de un campo de estudio.
- Dentro del texto, si se trata de una cita textual que abarque como máximo dos líneas, se citará el autor, se transcribirá entre comillas y enseguida entre paréntesis se apuntará el año y número de página(s). Si la cita abarca más líneas, se transcribirá el párrafo o párrafos con una sangría, sin comillas tal como se indica en la plantilla.
- Las fotografías, figuras, gráficas, cuadros y tablas deberán ser presentadas listas para ser reproducidas y su colocación dentro del texto se indicará claramente.

- Los artículos deben ser colocados en la **plantilla** correspondiente la cual debe ser solicitada al editor responsable o al Departamento de Publicaciones en la Secretaría General.
- Se incluirá la **Bibliografía** consultada al final del artículo respetando el siguiente formato:
 Autores (apellidos, iniciales nombres.), (año entre paréntesis). “Título del artículo”, *Título de la revista*, vol. (núm.), Editorial, Ciudad, número de páginas (separadas por guión).
 Seemueller, W. y Drewes, H., (1998). “Annual Report of the RNAAC SIRGAS”, *IGS 1997 Technical Reports*, IGS CB, Pasadena, pp. 173-174.
 En el caso de tesis o libros colocar el número de páginas total al final de la referencia.
- Todos los autores deberán observar estos lineamientos.
- Los artículos deben enviarse a la Editora de la *Revista Cartográfica*, quien los someterá a dictamen anónimo de dos especialistas e informará el resultado a los autores en un plazo no mayor de un año:

María Ester Gonzalez
 Editora *Revista Cartográfica*
 Universidad de Concepción
 Juan Antonio Coloma 0201, CP 4440000,
 Los Ángeles, Chile, Teléfono: +56 432405244
 Correos electrónicos: mariaesgonzalez@udec.cl | maria.ester.gonzalez@ipgh.org

No se devolverá el material enviado.

Función editorial del Instituto Panamericano de Geografía e Historia

El IPGH publica seis revistas, impresas y distribuidas desde México. Estas son: *Revista Cartográfica*, *Revista Geográfica*, *Revista de Historia de América*, *Antropología Americana*, *Revista de Arqueología Americana* y *Revista Geofísica*.

La Secretaría General invita a todos los investigadores y profesionales de las áreas de interés del IPGH: cartografía, geografía, historia, geofísica y ciencias afines, a que presenten trabajos de investigación para que sean publicados en nuestras revistas periódicas.

Si requiere mayor información, favor de comunicarse con:

Guadalupe Romero Mayoral
 Departamento de Publicaciones
 Secretaría General del IPGH
 Ex-Arzobispado 29, Colonia Observatorio, 11860 Ciudad de México, México
 Tels.: (+52-55) 5277-5888 / (+52-55) 5277-5791 / (+52-55) 5515-1910
 Correo electrónico: publicaciones@ipgh.org

La Revista Cartográfica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia abre la convocatoria para el envío de trabajos para un nuevo número especial titulado «Cartografía Inclusiva».

Editor invitado: Mg. Alejandra Coll Escanilla. Universidad Tecnológica Metropolitana (Santiago de Chile).

En el contexto de una sociedad que avanza hacia una realidad donde las políticas de inclusión, son cada día de mayor relevancia para los grupos más vulnerables, los de mayor riesgo social y aquellos con necesidades educativas especiales (NEE), la educación, la investigación y la evaluación de métodos de enseñanza, de material didáctico especialmente adaptado, como los mapas, que se utilizan para transferir conocimiento geográfico, consisten en acciones que van en aumento en las diferentes instituciones como las universidades y organizaciones privadas y de gobierno, en especial aquellas relacionadas con el uso y elaboración de cartografía.

Estos esfuerzos forman parte del ámbito de experiencias que la educación inclusiva, en particular para estudiantes con NEE, ha ido incorporando paulatinamente. Es claro e indiscutible que este grupo de estudiantes y de personas, para sentirse integrados a la sociedad necesitan adquirir conocimiento de sus regiones, del medio ambiente, de los recursos, de la localización y distribución espacial de los problemas que afectan a nuestra sociedad, de modo, que ese conocimiento les permita comprender y sentirse formando parte de un espacio geográfico complejo y multidimensional. Se trata de una tarea noble y necesaria que ningún académico, investigador o docente que trabaje con estos grupos especiales puede soslayar.

Es por lo anterior, que en este número especial lo invitamos a compartir las experiencias que en Chile, América Latina y en el mundo se han desarrollado en este ámbito y que ahora intentamos rescatar, para lo cual la participación y colaboración en la difusión de experiencias en los temas mencionados a continuación son fundamentales.

Atendiendo al interés en la temática de una sociedad más inclusiva y amable, la *Revista Cartográfica* del IPGH invita a todos los interesados en publicar trabajos relacionados con este tema en su número especial 99 que se publicará en el 2019. De esta manera la *Revista Cartográfica*, indexada en LatINDEX, sumará una nueva publicación a su extensa trayectoria que se desarrolla de forma ininterrumpida desde 1952.

Para este número especial se proponen, aunque no se limitan, los siguientes temas:

- Uso de TIG (Tecnologías de la Información Geográfica) en la educación inclusiva.
- Cartografía Táctil como un medio de accesibilidad a la información geográfica.
- Diseño Universal y accesibilidad.
- Accesibilidad a una educación inclusiva mediante tecnologías utilizadas en la enseñanza de la geografía.
- Material didáctico para la inclusión y el aprendizaje de la geografía en los estudiantes discapacitados.
- Accesibilidad e inclusión a las áreas naturales y parques.
- Uso de material didáctico para la enseñanza de los riesgos y amenazas en Educación Básica y Media.

- Experiencias en los procesos de enseñanza – aprendizaje en un ambiente inclusivo, usando material didáctico especial.
- Evaluación de material táctil y didáctico como parte de la utilización en procesos de enseñanza – aprendizaje.
- Otros temas relacionados con las Ciencias de la Tierra en un ambiente inclusivo.

Se recibirán distintos tipos de manuscritos:

- Artículos originales de investigación teórica o práctica.
- Estudios de caso novedosos y experiencias de implementaciones con descripción de problemas, soluciones y lecciones aprendidas durante el proceso de su desarrollo.
- Reseñas de tesis de grado, máster y doctorado.
- Artículos cortos o reseñas breves: reflexiones, descripciones, etcétera, de un máximo de 5 páginas, sobre estudios y aplicaciones técnico-profesionales.

Los trabajos deberán ajustarse al formato o plantilla para artículos disponible en: <http://comisiones.ipgh.org/CARTOGRAFIA/files/RCA/RCA-Plantilla.docx>

Mayor información sobre los requerimientos específicos:

<https://www.ipgh.org/revista-cartografica.html>

La *Revista Cartográfica* está indizada en LatINDEX y, en consecuencia, todos los trabajos serán revisados por pares académicos.

Idioma de publicación:

Idiomas oficiales del IPGH: español, francés, inglés o portugués.

Fecha importante:

15 de abril de 2019, fecha límite de recepción de artículos.

Dirección de contacto y responsable de la recepción de artículos:

Alejandra Coll Escanilla, correo electrónico: acoll@utem.cl

A Revista Cartográfica do Instituto Pan-Americano de Geografia e História abre a chamada para a submissão de artigos para uma nova edição especial intitulada «Cartografia Inclusiva».

Editor convidado: Profa. Mestre Alejandra Coll Escanilla. Universidad Tecnológica Metropolitana (Santiago do Chile).

No contexto de uma sociedade em que as políticas de inclusão são cada vez mais relevantes para os grupos mais vulneráveis - os de maior risco social, assim como aqueles com necessidades educacionais especiais (NEE) - a pesquisa e a avaliação de métodos de ensino e de materiais didáticos especialmente adaptados, como, por exemplo, os mapas, que são utilizados para transferir conhecimentos geográficos, consistem em ações que estão aumentando em diferentes instituições, tais como universidades e organizações públicas e privadas, sobretudo as relacionadas ao uso e elaboração de cartografia.

Esses esforços fazem parte do escopo de experiências que a educação inclusiva, em particular para alunos com NEE, vem incorporando gradualmente. É claro e indiscutível que este grupo de estudantes e pessoas, para se sentirem integrados à sociedade, precisam adquirir informações de suas regiões, do ambiente, dos recursos, da localização e da distribuição espacial dos problemas que afetam nossa sociedade. Dessa forma, o conhecimento permite que essas pessoas entendam e se sintam parte de um espaço geográfico complexo e multidimensional. É uma tarefa nobre e necessária que nenhum acadêmico, pesquisador ou professor que trabalhe com esses grupos especiais pode ignorar.

É pelo exposto que, nesta edição especial, o (a) convidamos a compartilhar as experiências que foram desenvolvidas nessa área, no Chile, na América Latina e no mundo e que agora estamos tentando resgatar, para a qual a participação e a colaboração na disseminação de experiências nos temas mencionados abaixo são fundamentais.

Em resposta ao interesse pela temática de uma sociedade mais inclusiva e amigável, a Revista Cartográfica do IPGH convida todos os interessados em publicar trabalhos relacionados a este tema em sua edição especial 99, que será publicada em 2019. Desta forma, a Revista Cartográfica, indexada no LatINDEX, adicionará uma nova publicação à sua extensa trajetória ininterrupta desde 1952.

Para esta edição especial, os seguintes tópicos são propostos, embora não limitados:

- Uso de TIG (Tecnologias da Informação Geográfica) na educação inclusiva;
- Cartografia Tátil como meio de acessibilidade à informação geográfica;
- Design e acessibilidade universal;
- Acesso a uma educação inclusiva por meio de tecnologias utilizadas no ensino da geografia;
- Material didático para a inclusão e a aprendizagem de geografia de estudantes com deficiência;
- Acessibilidade e inclusão em áreas naturais e parques;
- Utilização de material didático para o ensino de riscos e ameaças na educação básica;
- Experiências de processos de ensino - aprendizagem em um ambiente inclusivo, utilizando material didático adaptado;

- Avaliação de material didático e tátil como parte do uso em processos de ensino – aprendizagem;
- Outros tópicos relacionados às Ciências da Terra em um ambiente inclusivo.

Diferentes tipos de artigos serão recebidos:

- Artigos originais de pesquisa teórica ou prática;
- Novos estudos de caso e experiências de implementação com descrição de problemas, soluções e lições aprendidas durante o processo de seu desenvolvimento;
- Revisão de trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado;
- Artigos curtos ou resenhas breves: reflexões, descrições, etc., de no máximo 5 páginas, sobre estudos e aplicações técnico-profissionais.

Os trabalhos devem estar de acordo com o formato ou modelo para artigos disponível em:

<http://comisiones.ipgh.org/CARTOGRAFIA/files/RCA/RCA-Plantilla.docx>

Mais informações sobre os requisitos específicos:

<https://www.ipgh.org/revista-cartografica.html>

A Revista Cartográfica é indexada no LatINDEX e, consequentemente, todos os trabalhos serão revisados por pares acadêmicos.

Língua de Publicação:

Idiomas oficiais do IPGH: espanhol, francês, inglês ou português.

Data importante:

15 de abril de 2019, prazo para recebimento de artigos.

Endereço de contato e responsável pelo recebimento de artigos:
Alejandra Coll Escanilla, e-mail: acoll@utem.cl

The Cartographic Journal of the Pan American Institute for Geography and History is, from now, convening submissions for a new issue, to be a special publication titled «Inclusive Cartography».

Guest editor: MA. Alejandra Coll Escanilla; Metropolitan Technological University, Santiago, Chile.

Society has made progress towards a reality in which policies for inclusion are of increasing relevance for the most vulnerable groups; those at greatest social risk and those with special educational needs. It is in this context that the means used for transmitting geographic knowledge (including education, research and the assessment of teaching methods, and especially adapted educational material such as maps) consist of actions that are increasing at various institutions such as universities, private and state-run organizations, especially those involved with the creation and use of cartography.

These efforts are part of the general area of experiences that inclusive education, in particular that for students with special educational needs, has gradually been incorporating. It is clear and without doubt that this group of students and people, in order to feel integrated into society, need to acquire knowledge of their local area, of their environment, of the resources, of the location and of the spatial distribution of the problems that affect our society, in such a way that this knowledge enables them to understand and to feel part of a complex and multidimensional geographic space. This is a noble and necessary task that no academic, researcher or educational specialist working with these special groups may ignore.

In consideration of the above, for this special issue we invite contributors to share the experiences that in Chile, Latin America and the world have been undertaken in this thematic area and which we now try to gather together. For this reason, the participation and cooperation in announcing and distributing experiences in the matters covered as follows here are fundamental.

Responding to the interest in matters of a more inclusive and kinder society, the Cartographic Journal of the PAIGH invites all of those interested in publishing their texts related to this theme to make submissions for the 99th issue, a special edition of this journal, which will be published in 2019. In this way, the Cartographic Journal, indexed at "LatINDEX", will add a new publication to its extensive sequence of publications that has continued without a break since 1952.

For this special issue the following special topics are proposed to be included, although other themes may be covered additionally:

- Use of Geographic Information Technologies in inclusive education.
- Tactile Cartography as a media for access to geographic information.
- Universal Design and Accessibility.
- Access to an inclusive education through technologies used in teaching geography.
- Educational Material for inclusion and for learning geography among disabled pupils and students.
- Accessibility and inclusion in natural areas and parks.

- Use of educational materials for teaching about risks and hazards in basic and middle-level school education.
- Experiences in teaching – learning processes in an inclusive environment, using special educational material.
- Assessment of tactile and educational material as part of their use in teaching – learning processes.
- Other themes involving the Earth Sciences in an inclusive environment.

Various types of texts may be submitted:

- Original articles about theoretical or practical research.
- Innovative case studies and experiences of projects, with descriptions of the problems, solutions and lessons learnt during their processes of implementation.
- Reviews of graduation project texts at first degree, masters and doctorate levels.
- Short articles or brief reviews: analytical comments, descriptions, etc, of up to a maximum of five pages, about studies and technical – professional applications.

The submissions should be adapted to the format or template for articles available at: <http://comisiones.ipgh.org/CARTOGRAFIA/files/RCA/RCA-Plantilla.docx>

Further information about the specific requirements:
<https://www.ipgh.org/revista-cartografica.html>

The Cartographic Journal is indexed in LatINDEX and, consequently, all the submissions will be assessed by academic peers.

Language of publication:

Official languages of the PAIGH: Spanish, French, English or Portuguese.

Important date:

15th of April, 2019, deadline for articles to be submitted.

Management of contacts and of receiving submissions:

Alejandra Coll Escanilla acoll@utem.cl

Edición del
Instituto Panamericano de Geografía e Historia
realizada en su
Departamento de Publicaciones
Ex-Arzobispado núm. 29 , Col. Observatorio
Ciudad de México, México
Tels.: 5277-5888, 5277-5791, 5515-1910
publicaciones@ipgh
2018

**ESTADOS MIEMBROS
DEL
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA**

EL IPGH, SUS FUNCIONES Y SU ORGANIZACIÓN

Argentina

Belice

Bolivia

Brasil

Chile

Colombia

Costa Rica

Ecuador

El Salvador

**Estados Unidos
de América**

Guatemala

Haití

Honduras

México

Nicaragua

Panamá

Paraguay

Perú

**República
Dominicana**

Uruguay

Venezuela

El Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) fue fundado el 7 de febrero de 1928 por resolución aprobada en la Sexta Conferencia Internacional Americana que se llevó a efecto en La Habana, Cuba. En 1930, el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos construyó para el uso del IPGH, el edificio de la calle Ex Arzobispado 29, Tacubaya, en la ciudad de México.

En 1949, se firmó un convenio entre el Instituto y el Consejo de la Organización de los Estados Americanos y se constituyó en el primer organismo especializado de ella.

El Estatuto del IPGH cita en su artículo 1o. sus fines:

- 1) Fomentar, coordinar y difundir los estudios cartográficos, geofísicos, geográficos e históricos, y los relativos a las ciencias afines de interés para América.
- 2) Promover y realizar estudios, trabajos y capacitaciones en esas disciplinas.
- 3) Promover la cooperación entre los Institutos de sus disciplinas en América y con las organizaciones internacionales afines.

Solamente los Estados Americanos pueden ser miembros del IPGH. Existe también la categoría de Observador Permanente, actualmente se encuentran bajo esta condición: España, Francia, Israel y Jamaica.

El IPGH se compone de los siguientes órganos panamericanos:

- 1) Asamblea General
- 2) Consejo Directivo
- 3) Comisión de:

Cartografía	(Costa Rica)
Geografía	(EUA)
Historia	(México)
Geofísica	(Ecuador)

- 4) Reunión de Autoridades
- 5) Secretaría General (México, D.F., México)

Además, en cada Estado Miembro funciona una Sección Nacional cuyos componentes son nombrados por cada gobierno. Cuentan con su Presidente, Vicepresidente, Miembros Nacionales de Cartografía, Geografía, Historia y Geofísica.



Deslocamento espacial e temporal da linha de costa nas praias pertencentes a Recife e Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil *Luciana Maria Da Silva y Milde Maria Da Silva Lira* • Lineamientos de Gestión Territorial en la parroquia Carayaca, estado Vargas. Análisis de conflictos de uso de la tierra *Anays Florez Castillo* • Desarrollo de estrategias para integración de las Redes Verticales de América del Sur con base en los términos de referencia SIRGAS/GGOS/IAG *Andrea Galudht Santacruz Jaramillo* • Seguimiento colaborativo del ruido ambiental utilizando dispositivos móviles y sistemas de información geográfica *Juan Humberto Juárez Hipólito, Marco Antonio Moreno Ibarra y Miguel Jesús Torres Ruiz* • Monitoreo urbano de entidades y eventos geográficos basado en censo social *Juan Carlos Salazar Carrillo, Miguel Jesús Torres Ruiz y Marco Antonio Moreno Ibarra* • Las IDE 3D: necesidad, desarrollo y líneas de investigación *Javier Valencia y Ángel Luis Muñoz* • Comparing the Thiessen's Method against simpler Alternatives using Monte Carlo Simulation *Marcelo Guelfi y Carlos López Vazquez* • Metodologías de detección de outliers en datos espaciales, temporales y espacio-temporales *Isabel Blasco Fernández* • EPIC WebGIS-A partilha de conhecimento como ferramenta de integração da paisagem nas políticas de ordenamento do território *Manuela R. Magalhães, Selma B. Pena, Ana Müller, Natália S. Cunha, João F. Silva, Andreia Saavedra, Leonor T. Barata y Luisa Franco*

ISSN 0080-2085